ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม | วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด

Study on Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment Efficiency by 3 Forage Grasses in Alternate Flooding and Drying Soil System

นามผู้วิจัย นายนาวี จันทร์วงษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, Ph.D.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์บงกชรัตน์ ปิติยนต์, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ศาสตราจารย์สายัณห์ ทัดศรี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด

Study on Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment Efficiency by 3 Forage Grasses in Alternate Flooding and Drying Soil System

โดย

นายนาวี จันทร์วงษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2552

นาวี จันทร์วงษ์ 2552: การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, Ph.D. 236 หน้า

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ด้วยระบบดินน้ำขัง 5 วันสลับแห้ง 2 วันร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ และเพื่อพิสูจน์กลไกของการบำบัดสารอินทรีย์ว่าจะเป็นในแนวตั้งโดย facultative anaerobes และ/หรือในแนวนอนโดย aerobes ร่วมด้วยหรือไม่จึงได้ทำการทดลองขึ้น โดยใช้แผนการทดลองแบบ Split Plot Design มีน้ำเสีย (W_1) และน้ำชลประทาน (W_2) เป็น mainplot และมีหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ (P_1) หญ้าคาลล่าร์ (P_2) หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3) และดินเปล่า (S) เป็น subplot โดยทดลอง 3 ซ้ำ หลังจากทดลองบำบัดเป็นรอบ รอบละ 7 วัน รวม 7 รอบ อนึ่งเพื่อขจัดปัญหาการเสียโอกาสดูดใช้ธาตุอาหารพืช โดยข้อของหญ้าสตาร์ ซึ่งเป็นเถาเลื้อยออกจากกระถางคอนกรีต 1 เมตร จึงได้ใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าในอัตรา 9.63 กรัมไนโตรเจนต่อบ่อทุกบ่อหลังจากเก็บข้อมูลที่ระยะ 4 สัปดาห์แล้ว ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ก) ก่อนการบำบัด W1 มีค่า BOD T-N NH_4-N และ T-P ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 51.3±17.1 45.2±4.5 14.9±3.2 และ 5.1±0.8 mg/l ตามลำดับ มีค่า pH ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 7.4±0.2 ข) หลังการบำบัดพบว่าประสิทธิภาพ (ร้อยละ) ของการบำบัด BOD และดัชนีอื่นๆ นั้น W_1>W_2 อย่างเด่นชัดทางสถิติ กล่าวคือส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 92.5±3.2 กับ 87.9±3.9 96.3±0.4 กับ 71.8±8.3 94.2±2.2 กับ 60.8±8.0 และ 96.5±0.5 กับ 42.2±5.6 สำหรับค่า BOD T-N NH_4-N และ T-P ตามลำดับ ค)อิทธิพลของชนิดพืชที่มีต่อประสิทธิภาพ (ร้อยละ) ในการบำบัด BOD และการขนย้ายดัชนีอื่นๆ ไม่เด่นชัดทางสถิติ แต่ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย (ก) 90.3±2.4 89.6±3.5 89.8±4.2 และ 91.3±2.3 (ข) 84.5±4.2 87.3±4.7 86.3±4.0 และ 81.8±3.8 (ค) 77.6±4.1 76.7±5.9 76.1±6.1 และ 79.9±2.8 (ง) 69.9±3.7 69.7±3.4 65.7±5.7 และ 70.3±4.2 ใน P_1 P_2 P_3 และ S สำหรับ BOD T-N NH_4-N และ T-P ง) กลไกการบำบัดสารอินทรีย์ในแนวตั้งเป็นกลไกหลักของการบำบัด จ) น้ำเสียชุมชนส่งเสริมให้หญ้าอาหารสัตว์ ทั้งความสูงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3-7 ผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และการดูดใช้ไนโตรเจนที่ 4 6 และ 8 สัปดาห์สูงถึงระดับนัยสำคัญขึ้นไป ฉ) การใส่ปุ๋ยยูเรียช่วยเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในหญ้าให้สูงถึงมาตรฐานคุณภาพของหญ้าได้ และ ช) อิทธิพลอิสระของ subplot ในเกือบทุกดัชนีทางการเกษตรใน 6 สัปดาห์แรกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และอยู่ในอันดับ $P_1 > P_3 > P_2$ แต่ที่ 8 สัปดาห์เฉพาะความสูงเท่านั้นที่แตกต่างกันทางสถิติในอันดับ $P_1 > P_3 \sim P_2$

_____ _____ ___ / ___ / ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Navy Chanwong 2009: Study on Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment Efficiency by 3 Forage Grasses in Alternate Flooding and Drying Soil System. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Collage of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Paiboon Prabuddham, Ph.D. 236 pages.

In order to study treatment efficiency of Phetchaburi municipal wastewater by the alternating flooding (5 days) and drying (2 days) and Forage Grasses system and to verify the treatment mechanisms either by the vertical one of facultative anaerobes or/and the horizontal one of the aerobes, a Split Plot Design experiment, having the wastewater (W_1) and irrigation water (W_2) as mainplots and 3 Forage Grasses Cynodon plectostachyus (P_1), Cynodon plectostachyus (P_2), Paspalum. Ubon (P_3) and a bared soil (S) as subplots in 3 blocks, has been carried out in this system for 7 cycles of 7 days (5/2). To avoid unfaired chance of plant nutrient absorption from soil of nodes of the creeping P_1 grass in the 1 m.pots used, 9.6 gN/pot of ureas was top dressed in all pots just after harvesting the grasses at 4 weeks old after treatment. These are the summarized results;

a. Before treatment most of the range concentrations of BOD, T-N, NH_4-N and T-P of W_1 were 51.3±17.1, 45.2±4.5, 14.9±3.2 and 5.1±0.8 mg/l respectively. Most of its pH were in the range 7.4±0.2, b. After treatment, the treatment efficiencies (%) of BOD and other indicators were in the order $W_1>W_2$ significantly; that is, most of the ranges were; 92.5±3.2 and 87.9±3.9; 96.3±0.4 and 71.8±8.3; 94.2±2.2 and 60.8±8.0; and 96.5±0.5 and 42.2±5.6 for the earlier mentioned sequences respectively, c. Influences of the plants on the treatment efficiencies (%) of BOD and the mentioned sequential indicators were nonsignificant difference, most of the ranges (a) 90.3±2.4, 89.6±3.5, 89.8±4.2 and 91.3±2.3; (b) 84.5±4.2, 87.3±4.7, 86.3± 4.0 and 81.8±3.8 (c) 77.6±4.1, 76.7±5.9; 76.1±6.1 and 79.9±2.8; (d) 69.9±3.7, 69.7±3.4, 65.7±5.7 and 70.3±4.2 in P_1, P_2, P_3 and S plots for the mentioned sequential indicators, d. The vertical treatment mechanism was the treatment main factor controlling organic pollutants of this system, e. W_1 significantly promoted the forage grass both the height since 3-7 weeks, and the yields of both fresh and dry ones and uptake of N at 4, 6 and 8 weeks old, f. Urea top dressing to all plats improved the N content of the roughage which have been earlier difficant, to meet the standard quality, order and g. Pure effect of the subplot in most agronomic indicators in the first 6 weeks of the trios were highly significant and in the $P_1 > P_3 > P_2$ but at 8 weeks old, only plant height was significant difference in the order $P_1 > P_3 \simeq P_2$

_____ _____ ___ / ___ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ประพฤติธรรม ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความเมตตาให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และตักเตือนสั่งสอน ตลอดจนช่วยแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บงกชรัตน์ ปิติยนต์ และศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ ทัดศรี ซึ่งเป็นกรรมการที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ทองแพ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาแนะนำและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณมูลนิธิชัยพัฒนา และขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว ประธานโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ และได้ให้โอกาสในการศึกษาในระดับปริญญาโทแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณาจารย์วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำ และให้กำลังใจ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จังหวัดเพชรบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ขอขอบคุณ คุณสมชาย กรีฑาภิรมณ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติโครงการวิเคราะห์วิเคราะห์ดินและปุ๋ย ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ สำนักงานกรุงเทพฯ ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา กำลังใจตลอดมา ขอบคุณ เพื่อน พี่ น้อง วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 27 ที่ร่วมเป็นกำลังใจ และขอขอบคุณ คุณเพ็ญแข สุพัฒน์ศักดิ์สกุล ที่ช่วยจัดรูปเล่ม

สุดท้ายขอมอบคุณความดีและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่ คุณพ่อธนกฤตย์ จันทร์วงษ์ คุณแม่กาญจนา พรหมโบสถ์ คุณตา คุณยาย คุณปู่ และคุณย่า ที่ให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

นาวี จันทร์วงษ์

มีนาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	7
การตรวจเอกสาร	9
อุปกรณ์และวิธีการ	49
อุปกรณ์	49
วิธีการ	54
ผลและวิจารณ์	64
สรุป	202
เอกสารอ้างอิง	204
ภาคผนวก	219
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	236

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณการใช้น้ำของพืชต่างๆ ตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตหรือความต้องการน้ำของพืชต่อฤดูกาลเพาะปลูก	18
2	ปริมาณน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา	24
3	คุณลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ยังไม่ผ่านการบำบัด	29
4	ลำดับของปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดในดินน้ำขัง	36
5	วิธีวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ	62
6	คุณภาพน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ก่อนเข้าหน่วยทดลองระบบดินเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2549	65
7	คุณภาพน้ำชลประทานเมืองเพชรบุรี ก่อนเข้าหน่วยทดลองระบบดินเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2549	66
8	ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับดัชนีคุณภาพน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีก่อนการบำบัด	74
9	ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับดัชนีคุณภาพน้ำชลประทานเมืองเพชรบุรีก่อนการบำบัด	74
10	ค่าบีโอดีในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช	76
11	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้ง	79
12	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	84
13	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	86
14	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	92
16	ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	97
17	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณแอมโมเนียม (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้ง	100
18	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	104
19	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	106
20	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อค่าบีโอดี	112
21	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง	113
22	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด	115
23	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อแอมโมเนียมไนโตรเจน	116
24	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	118
25	ปริมาตรน้ำเสียชุมชนที่ถูกระบายออกในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	120
26	ปริมาตรน้ำชลประทานที่ถูกระบายออกในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
27	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานในสภาพดินเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	122
28	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดบีโอดี	124
29	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานในสภาพการขังน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน	129
30	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	131
31	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานในสภาพการขังน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน	135
32	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดปริมาณแอมโมเนียม	137
33	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานในสภาพการขังน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน	142
34	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	144
35	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี	148
36	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าไนโตรเจนทั้งหมด	150
37	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจน	151

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
38	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	153
39	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความสูง (เซนติเมตร) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ก่อนใส่ปุ๋ยยูเรีย	156
40	ผลต่างของปริมาณไนโตรเจนรูปต่างๆ จากน้ำเสียชุมชนซึ่งสูงกว่าจากน้ำชลประทานอย่างชัดเจนเมื่อใส่บ่อละ 140 ลิตร และใช้ดินบ่อละ 225 กิโลกรัม	159
41	การกระจายของแอมโมเนียมจากน้ำเสียชุมชนในดินภายในบ่อซึ่งควรจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของหญ้าให้สูงกว่าจากน้ำชลประทาน	162
42	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความสูง (เซนติเมตร) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด หลังใส่ปุ๋ยยูเรีย	166
43	ผลต่างเฉพาะของปริมาณไนโตรเจนรูปต่างๆ จากน้ำเสียชุมชนซึ่งสูงกว่าจากน้ำชลประทาน บ่อละ 140 ลิตร และใช้ดินบ่อละ 225 กิโลกรัม หลังการใส่ ปุ๋ยยูเรีย	168
44	การกระจายของแอมโมเนียมเฉพาะจากน้ำเสียชุมชนซึ่งจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของหญ้าได้สูงกว่าจากน้ำชลประทาน หลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย	169
45	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อผลผลิต (กรัมต่อบ่อ) และปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชที่ระยะวันตัด 4 สัปดาห์	172
46	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อผลผลิต (กรัมต่อบ่อ) และปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชที่ 6 สัปดาห์	178
47	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อผลผลิต (กรัมต่อบ่อ) และปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชที่ 8 สัปดาห์	183
48	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ก่อนใส่ปุ๋ยยูเรีย	189

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
49	อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด หลังใส่ปุ๋ยยูเรีย	195
50	ประสิทธิภาพโดยสังเขปของการดูดใช้ไนโตรเจน (ร้อยละ) ที่มาจากปุ๋ยยูเรีย	200

ตารางผนวกที่

1	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	220
2	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	221
3	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	222
4	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	223
5	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	224
6	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (เปอร์เซ็นต์) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	225
7	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	226

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
8	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์) หลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	227
9	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) หลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	228
10	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าความสูง (เซนติเมตร) ของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	229
11	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อน้ำหนักสด (กรัมต่อบ่อ) ของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	230
12	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อบ่อ) ของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	231
13	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชสดของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	232
14	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชแห้งของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	233
15	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีต่อความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนในพืชแห้งของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช	234
16	อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดดึง (มิลลิกรัม/บ่อ) ภายหลังการทดลองครบ 8 สัปดาห์	235

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียและวัตถุประสงค์หลักของแต่ละกระบวนการ	33
2	บ่อซีเมนต์	49
3	แผนผังหน่วยทดลอง	56

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด

Study on Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment Efficiency by 3 Forage Grasses in Alternate Flooding and Drying Soil System

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่หมดสิ้น (Non-Exhaustive Natural Resources) ที่จำเป็นจะต้องมีการอนุรักษ์อย่างดียิ่งให้มีใช้ทั้งปีให้ได้ แม้ประเทศไทยเราจะอยู่ในเขตร้อนชื้นมีฝนตกเฉลี่ยสูงถึงปีละ 1,680 มิลลิเมตร (เกษม, 2551) เนื่องจากทั้งประเทศมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 320.7 ล้านไร่ ดังนั้นประเทศไทยเราจึงสามารถรับน้ำฝนถึงประมาณ 862,042 ล้านลูกบาศก์เมตรได้ แม้มีปริมาณน้ำท่าประมาณ 209,250 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่สามารถนำเอามาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพได้เพียงประมาณร้อยละ 27 เท่านั้น เนื่องจาก NGO ปลุกกระแสต้านการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ทำให้ในปี 2549 (ถ้าเป็นไปตามแผน) จะมีอ่างเก็บน้ำที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้เพียง 56,453 ล้านลูกบาศก์เมตรเท่านั้น (วีระพล, มปป.) การปล่อยปละละเลยให้มีการบุกรุกป่าจนเหลือพื้นที่ป่าทั้งประเทศเพียงร้อยละ 25.3 ในปี 2541 (ศูนย์สาระสนเทศการเกษตร, 2544) ทำให้ภาวะการเป็นฟองน้ำก้อนมหึมาของดินใต้ป่าที่สมบูรณ์ (ไพบูลย์, 2549) มีพื้นที่จำกัดเฉพาะบริเวณที่เป็นภูเขาสูงซึ่งยากต่อการเข้าถึงของมนุษย์และบริเวณที่มีเจ้าหน้าที่ดูแลอย่างมีประสิทธิภาพเท่านั้น จึงทำให้มีความสามารถที่จะกักเก็บน้ำฝนไว้ได้เพียงจำนวนจำกัดและขาดความต่อเนื่องเป็นป่าผืนใหญ่ ส่วนของป่าที่เคยถูกบุกรุกเข้าทำการเกษตรก็จะเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็วและถูกปล่อยให้เป็นไร่ร้างหรือป่าเสื่อมโทรม ซึ่งถูกปกคลุมด้วยหญ้าคาและมีไม้ยืนต้นอยู่เพียงเล็กน้อยทั้งนี้ เพราะเมื่อป่าถูกบุกรุกสัตว์ป่ารวมทั้งสัตว์ป่าที่มีโซ่อาหารอยู่ในดินจะถูกรบกวนเพราะทั้งถิ่นที่อยู่ (Habitat) และแหล่งอาหาร (Food Place) ถูกรบกวน สัตว์ป่าขนาดเล็กและปานกลางที่มีโซ่อาหารอยู่ในดินก็ไม่สามารถสร้างภาวะความเป็นฟองน้ำของดินใต้ป่าได้อีกต่อไป ประกอบกับการเตรียมดินซึ่งจะต้องไถพรวนก็จะทำให้เกิดการอุดตันของรูหรือโพรงขนาดต่างๆ ในดินให้หมดไปได้ภายในฤดูปลูกแรก เพราะขี้ไถเมื่อถูกแสงแดดก็จะแห้งกรอบและแตกร้าวเมื่อฝนตกลงมาก็จะแตกออกเป็นก้อนเล็กๆ และหากฝนตกหนักและนานพอก็จะพัดพาเอาก้อนดินเล็กๆ ลงไปอุดรูหรือโพรงที่เกิดจากสัตว์จนหมดไปอย่างรวดเร็วภายในฝนแรกๆ ช่องว่างขนาดใหญ่ทุติยภูมิซึ่งเป็นผลงานของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นตัวผลิตสารเชื่อมก็จะค่อยๆ เสื่อมลงไปตามความถี่ของการไถ-การพรวน น้ำฝนที่ตกลงมามีมากกว่าอัตราการซึมซับของดิน (ลงในตามช่องว่างขนาดใหญ่) ก็จะ

กลายเป็นน้ำไหลบ่าและพัดพาเอาอนุภาคปฐมภูมิของดินซึ่งเกิดจากการกระแทกของเม็ดฝนออกไปหน้าดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคดินเหนียวซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ (เพราะมีขนาดเล็กมาก) นั้นจะต้องสูญเสียไปจากหน้าดินแน่ๆ แม้ว่าที่สูงนั้นจะเป็นพื้นราบ แต่ถ้าเป็นพื้นที่ลาดเทก็จะสูญเสียทั้งอนุภาคทราย ทรายแป้ง และแม้แต่ก้อนกรวดก้อนหินก็ได้เมื่อเกิดการกัดเซาะกร่อนแบบร่องลึก (Gully) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และถ้าเกิดฝนตกหนักมากและติดต่อกันนานปรากฏการณ์อุทกภัยและดินถล่มในพื้นที่เสี่ยงภัยจึงเกิดขึ้นและเกือบทุกปีในปัจจุบันนี้สลับการเกิดภาวะแล้งซ้ำซาก การสูญหายไปของช่องว่างขนาดใหญ่ทุติยภูมิ (เหลือแต่ช่องว่างขนาดใหญ่ปฐมภูมิที่เกิดจากการมีอนุภาคทรายในดิน) นี้เองที่เป็นเหตุให้เกิดป่าเสื่อมโทรม (ไพบูลย์, 2549) (การลดน้อยของธาตุอาหารพืชซึ่งมักจะมีความสัมพันธ์อยู่กับปริมาณอนุภาคดินเหนียว (ไพบูลย์, 2528) ไม่น่าจะเป็นเหตุหลัก เพราะเมื่อดินขาดช่องว่างขนาดใหญ่น้ำก็จะซึมลงไปในดินน้อยจนไม่พอกับความต้องการของพืชขนาดใหญ่ซึ่งจะต้องมีการสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลาโดยขบวนการคายน้ำ แต่น้ำฝนที่ซึมลงไปได้ตามช่องว่างขนาดใหญ่ปฐมภูมินั้นพอเพียงสำหรับการเจริญเติบโตของหญ้าคาและไม้ขนาดเล็ก และหญ้าคานี้เองที่เป็นตัวช่วยอนุรักษ์ธาตุอาหารพืช (ความอุดมสมบูรณ์ของดิน) เอาไว้ ไพบูลย์ (2550) “ได้ชี้ให้เห็นในเอกสารคำสอนของวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและปรัชญาสิ่งแวดล้อมว่าการควบคุมการถือครองที่ดินด้วยการออกกฎหมายบังคับให้ทุกครัวเรือนในชนบทที่จะประกอบอาชีพทางการเกษตรสามารถมีที่ดินครอบครัวละ 20 ไร่ และทุกครัวเรือนในเขตเมืองมีสิทธิ์มีที่ดินเพื่อการอยู่อาศัยเท่านั้น ครอบครัวละ 100 ตารางวาได้ และส่ง เสริมให้ทุกครัวเรือนอยู่กันแบบครอบครัวขยาย ครอบครัวละ 6 คน (จาก 3 รุ่นๆ ละ 2 คน) ได้แล้วทุกคนมีสิทธิ์ที่จะอยู่เย็นเป็นสุขได้ (ไม่ขาดแคลนปัจจัย 4) แล้วยังจะมีพื้นที่ป่าอนุรักษ์ได้ไม่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งประเทศไทยเราด้วย เพราะถ้าประชากรของทั้งประเทศมีอยู่ 66 ล้านคน เป็นเกษตรกรเสีย 50 เปอร์เซ็นต์ และคนในเมือง 50 เปอร์เซ็นต์ ก็จะต้องการพื้นที่เกษตรเพียง 110 ล้านไร่ พื้นที่เมืองเพียง 4.6 ล้านไร่ ถ้าหากให้มีพื้นที่แหล่งน้ำทั้งหมด 5 ล้านไร่ ก็จะมีพื้นที่ป่าไม้ได้ 62.6 เปอร์เซ็นต์ ความสำเร็จนี้จะเป็นจริงได้ต้องปฏิรูปที่ดินทั้งการเกษตรทั้ง 110 ล้านไร่ให้ได้ และที่ดินในเมือง 4.6 ล้านไร่ให้ได้ด้วย แล้วใช้ทฤษฎีการใช้ที่ดินใหม่ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมาใช้อย่างเหมาะสม กล่าวคือ ในบริเวณที่ราบลุ่มกลางจะส่งเสริมให้มีการผลิตทางการเกษตรแบบการค้าและใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ให้เหมาะสม ในขณะที่เขตเกษตรน้ำฝนจะเป็นการผลิตเพื่อการยังชีพ ส่วนในเขตเมือง 4.6 ล้านไร่นั้นก็จะต้องปฏิรูปและจัดรูปใหม่ให้ครอบครัวละ 1 งานให้ได้ และควรจะผลิตผักปลอดสารพิษเอาไว้บริโภคในครัวเรือนได้และจัดการขยะและน้ำเสียในแต่ละครัวเรือนได้โดยใช้เทคโนโลยีกล่องคอนกรีตที่วิทยาลัยสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์พัฒนาขึ้น ก็จะทำให้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมืองได้ไม่ยากนัก” แต่การปฏิรูปกฎหมายที่ดีๆ นั้นมักจะได้รับการต่อต้านจากผู้เสียผลประโยชน์ซึ่งล้วนเป็นผู้มีอิทธิพลทางการเงินสูง ประกอบกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านทรัพยากรและการเกษตรที่แท้จริงนั้นมักจะละเลยที่จะหา

ความรู้ทางด้านกฎหมายที่ประเทศที่พัฒนาแล้วเขาใช้บังคับเพื่อให้เกิดความเป็นธรรมขึ้นในสังคม หากแต่มอบหมายให้นักกฎหมายไปค้นคว้าเองประกอบกับประเทศไทยเราขาดนักกฎหมายมหาชนที่มีจิตวิญญาณสาธารณะ ประเทศเราจึงขาดกฎหมายที่ประกันได้ว่าจะสร้างความเป็นธรรมที่แท้จริงให้กับผู้ยากไร้และก่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนได้ การรวมกลุ่มคนที่มีอุดมการณ์ที่จะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้และมีจิตวิญญาณที่จะไปให้ความรู้และปลุกสำนึกของชาวชนบทซึ่งไม่ได้รับความเป็นธรรมมาตลอดชีวิต ได้ลุกขึ้นมาเรียกร้องสิทธิความเป็นมนุษย์ขั้นพื้นฐาน คือสามารถเป็นเจ้าของปัจจัยสี่ได้เกือบครบและสามารถจัดหาส่วนที่ขาดได้ในราคาที่ยุติธรรมให้ได้ ชาวชนบทเหล่านี้ไม่เคยเรียกร้องใดๆ เพราะคิดว่าเป็นกรรมเวรของตนเองและครอบครัว แต่แท้ที่จริงแล้วเป็นกรรมใหม่ที่ผู้มีโอกาสแต่มีความเห็นแก่ตัวสูงแย่งเอาสิทธิของผู้ที่ไร้ที่ทำกินไปต่างหาก สิทธิ์ของผู้ที่ไร้ที่ทำกินนี้สมควรจะได้รับการบรรจุอยู่ในระบบการศึกษาของชาติเพื่อให้เยาวชนได้ตะหนักถึงความเป็นธรรมขั้นพื้นฐานนี้ แต่การปลูกจิตสำนึกนี้จะต้องใช้เวลานานมากเพราะหาแนวร่วมทางวิชาการได้ยากเนื่องจากนักวิชาการส่วนใหญ่ไม่ได้มาจากครอบครัวที่ยากจนในชนบทที่แท้จริง แต่ผู้ที่มีอุดมการณ์ทางด้านทรัพยากรที่แท้จริงก็น่าจะต้องอดทนและค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นรูปธรรมทุกแง่มุมมาให้กับผู้ร่วมอุดมการณ์สาขาอื่นๆ มาช่วยสนับสนุนให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญยิ่งต่อมนุษย์ เพื่อให้ขบวนการเมตาลิซึม ซึ่งปกติผู้ใหญ่แต่ละคนจะต้องการน้ำวันละ 3 ลิตร เพื่อรักษาให้ปริมาณน้ำในร่างกายอยู่ที่ร้อยละ 71 ซึ่งหากได้จากอาหารสูงถึง 1.2 ลิตร และจะต้องดื่มอีก 1.8 ลิตร (สุรีย์, 2519) แต่โดยข้อเท็จจริงแล้วมนุษย์แต่ละคนต้องการน้ำสะอาดมากกว่านั้นมาก ณรงค์และกรรณิการ์ (2528) คาดคะเนว่าประชากรชนบทในแต่ละครอบครัวต้องการน้ำวันละ 200-400 ลิตร แต่ในเมืองใหญ่ควรต้องการเพิ่ม 5-10 เท่า ประมาณร้อยละ 85-90 ของน้ำที่ใช้แล้วจะกลายเป็นน้ำเสีย (เกษม, 2545) เนื่องจากเมืองใหญ่ๆ ของประเทศไทยเรามักจะตั้งอยู่ในที่ราบลุ่ม การควบคุมมิให้น้ำเสียชุมชนไหลลงไปปนเปื้อนแหล่งน้ำธรรมชาติจึงกระทำได้ยากและเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบระบบนิเวศสูงมากเพราะน้ำเสียชุมชนย่อมจะต้องมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่เสมอ จึงมีโอกาสทำให้เกิดเน่า (ขาด O_2) สูงมากแต่ถ้านำเอามาใช้ในทางเกษตรแล้วน่าจะเกิดผลดี เพราะในสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นจะต้องมีโปรตีนปนอยู่ด้วยและสารอินทรีย์ในน้ำเสียน่าจะเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ดินด้วย การค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่ายิ่งทางเกษตรในเขตชานเมืองนั้นน่าจะเป็นงานวิจัยทางด้านอนุรักษ์น้ำส่วนหนึ่งของการอนุรักษ์น้ำทั้งระบบที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งเรื่องหนึ่งเพราะนอกจากจะสามารถทำการเกษตรแม้ในฤดูแล้งในเขตชานเมืองได้แล้วยังสามารถอนุรักษ์ระบบนิเวศในแหล่งน้ำธรรมชาติให้ยั่งยืนได้ ความสับสนของประชาชนในเขตเมืองซึ่งคุ้นเคยกับการพบความเน่าเสียของแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นประจำนั้นมักจะเกิดจากการเผยแพร่ความคิดของนักคิดซึ่งขาดความรู้ทางวิทยาศาสตร์แต่

เป็นกลุ่มของผู้เผยแพร่จิตนาการของตัวเองและสื่อมักชอบนำมาเผยแพร่ต่อมักจะคิดว่า การที่น้ำเสียชุมชนทำให้ปลาตายนั้นเป็นน้ำพิษ สามารถทำอันตรายต่อชีวิตของพืชน้ำได้เพราะต่างก็มีชีวิตเหมือนกัน ซึ่งฟังดูแล้วคล้ายจะมีเหตุผลแต่ไม่ใช่ เหตุที่ปลาตายนั้นเกิดจากไม่มีออกซิเจนให้ปลาใช้หายใจต่างหาก น้ำกลั่นซึ่งไม่มีสารปนเปื้อนใดๆ ก็สามารถฆ่าพืชบกส่วนใหญ่ได้ถ้าหากเอามารดพืชนั้นๆ จนท่วมขังต่อเนื่องกันนานๆ เพราะบริเวณรากพืชบกนั้นจะขาดออกซิเจนต่อเนื่องกันนานจนรากพืชบกหายใจไม่ได้และทำกิจกรรมใดๆ ไม่ได้ การขาดออกซิเจนในดินที่มีน้ำขัง (ดินนา) นอกจากข้าวจะไม่ตายยังเจริญงอกงามได้ดีกว่าข้าวไร่เพราะข้าวในที่ลุ่มมีกลไกลที่จะพาออกซิเจนจากรากส่วนเหนือดินลงมาเลี้ยงรากให้หายใจได้ตามปกติในดินที่ไร้ออกซิเจน การค้นพบว่าน้ำเสียชุมชนมิใช่น้ำพิษ หากแต่ส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตดีกว่าน้ำจากแม่น้ำและน้ำฝนนั้นมีรายงานไว้ในอังกฤษเมื่อสามร้อยปีเศษมาแล้ว (Woodword, 1699 อ้างไว้ใน Bould and Hewitt, 1963 และ Millar *et al*., 1965) ความสับสนนี้ควรจะหมดไป เมื่อได้ติดตามผลงานวิจัยของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

การนำน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางเกษตรนั้นนอกจากจะได้ประโยชน์ทางการเกษตรแล้วยังช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศในแหล่งน้ำธรรมชาติได้เป็นอย่างดีและประหยัดค่าใช้จ่ายมากด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งควรจะนับว่าเป็นน้ำเสียชุมชนที่เป็นกรณีตัวอย่างที่เลวที่สุดของน้ำเสียชุมชนเมืองชนบทเพราะมีการทำอุตสาหกรรมขนมหวานที่มีชื่อเสียงที่สุดของจังหวัด เพราะมีสารอินทรีย์เป็นมลสารหลัก (สิทธิชัย, 2538: อาภรณ์, 2539: พิพัฒน์ และ สุรศักดิ์, 2543: สุกัญญา, 2548 และอรทัย, 2550) จากการศึกษาของ Hammer and Bastain (1989) พบว่าในน้ำเสียชุมชนของสหรัฐอเมริกาจะมีทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งจะมีอยู่ในน้ำเสียร้อยละ 25-50, 40-60 และ 10 ตามลำดับ และ Metcalf and Eddy (1991) ได้รายงานไว้ว่าในน้ำเสียชุมชนของสหรัฐนั้นนอกจากจะมีสารอินทรีย์คาร์บอนแล้วยังมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งในรูปสารอินทรีย์และอนินทรีย์อยู่ด้วย โดยมีค่า BOD : TKN : TP ประมาณ 300 : 85 : 30 200 : 40 :14 และ 100 : 20 : 8 ในบริเวณที่มีความเข้มข้นของมลสารสูง ปานกลาง และต่ำ ตามลำดับ สำหรับในประเทศไทยก็ต้องพบสารทั้ง 3 กลุ่มนี้ด้วย เพราะประเทศไทยเราเป็นผู้ผลิตอาหารหลักของโลกประเทศหนึ่ง ซึ่งมีร้านขายอาหารอยู่ทั่วไปทั้งในตัวอาคารและข้างถนนในเมืองตลอดจนบ้านเรือนที่ประกอบอาหารเองย่อมจะต้องมีการปนเปื้อนสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันในน้ำทิ้งแน่ๆ และในโปรตีนเองก็จะต้องมีทั้งโปรตีนธรรมดา (CHON) ฟอสโฟโปรตีน (CHONP) และซัลเฟอร์โปรตีน (CHONS) ปนเปื้อนอยู่ด้วยเสมอ หากน้ำเสียชุมชนแห่งนี้ไหลลงไปปนเปื้อนแหล่งน้ำธรรมชาติ ย่อมจะต้องทำให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว เพราะแบคทีเรียประเภทที่ต้องการ O_2 (Aerobic Bbacteria) ซึ่งควรจะเป็นผู้ย่อยสลายหลักในแหล่งน้ำ จะใช้คาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียเป็นตัวให้อิเล็คตรอน (Electron Donor) แล้วใช้ O_2

ที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นตัวรับอิเล็คตรอน (Electron Acceptor)ในขบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงานจลน์ โดยการปล่อยน้ำย่อยออกมาจากเซลล์ของมัน (Exoenzyme) ออกมาย่อยสลายโปรตีนในน้ำเสียให้เป็นกรดอะมิโนแล้วดูดซึมเอาเข้าไปใช้สังเคราะห์โปรตีน เพื่อเป็นองค์ประกอบของโปรตีนประเภทต่างๆ ในเซลล์ของ Aerobes กลุ่มนี้จนทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ขึ้นอย่างรวดเร็วและใช้ O_2 ในน้ำเข้ามาใช้หายใจเพิ่มขึ้นๆ จน O_2 ในน้ำลดน้อยลงอย่างรวดเร็ว จนเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้นทุกชนิด และในที่สุดแหล่งน้ำนี้ก็จะปราศจากสิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดในน้ำเมื่อ O_2 หมดไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดการน้ำเสียชุมชนให้มีค่า BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) จึงจะอนุญาติให้ปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำผิวดินในธรรมชาติได้ การจัดการน้ำเสียชุมชนด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนระบบหนึ่งซึ่งใช้ระบบธรรมชาติช่วยธรรมชาติเพราะนักเคมีดินนาหลายท่าน (Ponnamperuma, 1955, 1965, 1972, 1976, Prabuddham, 1966 และ Attanandana, 1971) พบว่าดินนาที่มีน้ำขังเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ได้โดยเกิด Anaerobic Respiration ของ Obligated Anaerobes ซึ่งใช้ NO_3^- ,active Mn(IV), active Fe(III) เป็นตัวรับอิเล็คตรอนเพื่อการหายใจแทน O_2 และใช้อินทรีย์วัตถุในดินเป็นตัวให้อิเล็คตรอน สิทธิชัย (2538) ประสบความสำเร็จในการดัดแปลงความรู้ดังกล่าวมาส่งเสริมให้ Facultative Anaerobes ทำงานแทน Obligated Anaerobes ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช (7/3) มาบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีโดยให้น้ำเสียแช่ขัง 7 วันสลับกับการปล่อยให้แห้ง 3 วัน ซึ่งจะเกิด Anaerobic Respiration ขณะมีการขังน้ำและเกิด Aerobic Respiration ขณะที่ดินแห้ง สารอินทรีย์ก็จะถูกบำบัดโดยพวกคาร์โบไฮเดรตกลายไปเป็น CO_2 หายไป และโปรตีนถูกพวก Decomposers นำเอาไปใช้สร้างเซลล์เพิ่มจำนวนประชากรและเกาะติดกับอินทรีย์วัตถุในดินและค่อยๆ ปลดปล่อย NH_4^+-N ออกมา NH_4^+-N และโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายไม่ว่าจะเป็น Cation และ/หรือ Metal Chelates จะถูกพืชดูดเข้าไปในรากและเคลื่อนย้ายไปอยู่ส่วนเหนือดินของพืชที่ทนน้ำท่วม 7 วันได้ เมื่อตัดพืชออกในระยะเวลาที่เหมาะสมก็จะเป็นการขนย้ายมลสารออกจากระบบ กลไกการบำบัดน้ำเสียโดย Facultative Anaerobes นี้ถูกเรียกในระยะหลังๆ ว่า Vertical Mechanism ส่วนกลไกในแนวนอน (Horizontal Mechanism) นั้นจะเป็นผลงานการบำบัดของพวก Aerobes ซึ่งมาเกาะและอาศัยใช้ O_2 ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรากพืชที่ทนน้ำท่วมขังได้บางชนิดเป็นตัวรับอิเล็คตรอนแล้วได้สารอินทรีย์ต่างๆ จากน้ำเสียซึ่งไหลมาหารากพืชตลอดเวลากลางวัน เพื่อให้พืชดูดเอาไปใช้ในขบวนการคายน้ำเพื่อระบายความร้อนออกไปจากผิวใบโดยใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นตัวให้อิเล็คตรอนเพื่อการหายใจและใช้โปรตีนเพื่อการสร้างเซลล์ กลไกในแนวนอนนี้อาจเป็นไปได้เพราะอาภรณ์ (2539) พบว่า BOD Output ของระบบนี้เมื่อมีกกกลม และธูปฤาษีนั้นต่ำกว่าในแปลงดินเปล่าอย่างมีนัยสำคัญ และพบด้วยว่าสามารถลดระยะเวลาขังน้ำจาก 7 วันลงเหลือ 5 วัน (5/3)ได้ แต่สุกัญญา (2549) ได้ปรับเป็นระบบ 5/2 ก็พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีสูงมาก แต่ไม่พบว่าเมื่อมีพุทธรักษาและธรรมรักษาแล้ว ประสิทธิภาพในการบำบัดในแนวนอน

เพิ่มขึ้นถึงระดับนัยสำคัญ เช่นเดียวกับอรทัย (2550) ก็พบว่า Vertical Mechanism เท่านั้นที่ควบคุมการบำบัด BOD ในระบบ5/2 ที่ใช้พุทธรักษา 3 พันธุ์เปรียบเทียบกับดินเปล่า และศิวาพร (2551) ก็พบทำนองเดียวกันกับโสน 3 พันธุ์และดินเปล่า ดังนั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์ให้ชัดเจนว่าหญ้าอาหารสัตว์ที่ทนน้ำท่วม 5 วันได้ จะสามารถเสริม Horizontal Mechanism ของการบำบัดน้ำเสียชุมชนในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช (5/2) ซึ่งเชื่อว่าจะเกิดการบำบัดโดย Vertical Mechanism (ในดินเปล่า) แน่นั้นได้บ้างหรือไม่ จึงได้ทำการทดลองขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำก่อนและหลังการทดลอง ได้แก่ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) แอมโมเนียมไนโตรเจน (Ammonium Nitrogen: NH_4^+-N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี และน้ำจากคลองชลประทาน จังหวัดเพชรบุรี

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) หญ้าคาลล่าร์ (*Leptochloa fusca* (L.)) และหญ้าอุบลพาสพาลัม (*Paspalum atratum* Swallen) ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้ง ที่มีระยะเวลาการขังน้ำ 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน

3. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตในหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ที่ทำการปลูกโดยใช้น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี และน้ำจากคลองชลประทาน จังหวัดเพชรบุรี

4. เพื่อนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และเป็นแนวทางเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช โดยมี Flooding Time 5/2 หมายถึง ระยะเวลาการขังน้ำ 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเหนียวผสมทรายหยาบอัตราส่วน 3:1 ใช้แผนการทดลองแบบ Split Plot Design มีแหล่งที่มาของน้ำเป็น Main Plot 2 แหล่ง คือ น้ำเสียชุมชน และน้ำชลประทานเป็นตัวเปรียบเทียบ และมี Sub Plot เป็นหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) หญ้าคาลล่าร์ (*Leptochloa fusca* (L.)) หญ้าอุบลพาสพาลัม (*Paspalum atratum* Swallen) และดินเปล่าเป็นแปลงเปรียบเทียบ โดยใช้พื้นที่บริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เป็นสถานที่ตั้งหน่วยทดลอง

2. ดัชนีที่ทำการศึกษาในน้ำ คือ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) แอมโมเนียมไนโตรเจน (Ammonium Nitrogen: NH_4^+-N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ส่วนดัชนีที่ทำการศึกษาในพืช คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด

3. ศึกษาการคาดคะเนประสิทธิภาพการบำบัดที่แท้จริง โดยคำนวณมวลมลสาร (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่เข้าและออกจากแปลง

การตรวจเอกสาร

ความสำคัญของน้ำ

1. ต่อมนุษย์

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อมนุษย์และระบบนิเวศโดยรวม เพราะสิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ย่อยสลาย จะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้หากมีน้ำภายในเซลล์น้อยเกินไป เพราะขบวนการเมตาบอลิซึมภายในแต่ละเซลล์จะเกิดไม่ได้หากมีน้ำน้อยเกินไป เพื่อควบคุมให้ร่างกายของมนุษย์เป็นปกติ คือมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 71 เปอร์เซ็นต์ ผู้ใหญ่แต่ละคนจะต้องการน้ำประมาณวันละ 3 ลิตร ซึ่งอาจได้น้ำจากอาหารสูงถึง 1.2 ลิตร และต้องดื่มอีก 1.8 ลิตร (สุรีย์, 2519) แต่โดยข้อเท็จจริงแล้วมนุษย์แต่ละคนต้องการน้ำสะอาดมากกว่านั้นมาก เพราะนอกจากจะใช้ดื่มและใช้ปรุงอาหารแล้ว ยังจะต้องใช้น้ำเพื่ออาบชำระเหงื่อไคลและถ่ายเทของเสีย เพื่อทำความสะอาดเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม บ้าน และเครื่องเรือนต่างๆ ตลอดจนเพื่อทำสวนครัว ล้างรถและอื่นๆ อีก ณรงค์และกรรณิการ์ (2528) คาดคะเนว่า ประชาชนในชนบทต้องการน้ำวันละ 200-400 ลิตร แต่ในเมืองใหญ่อาจต้องการเพิ่ม 5-10 เท่า ปัจจัยที่ควบคุมการใช้น้ำของมนุษย์ประกอบด้วยความสะดวกของการใช้น้ำ อุปนิสัยของประชาชน ภูมิอากาศ ราคาของน้ำใช้ ชนิดของสุขภัณฑ์ต่างๆ ความดันน้ำ และมาตรวัดวัดปริมาณน้ำที่ใช้ (พัฒนา, 2541) จากรายงานของ Salvato (1982) ปรากฏว่า ประชาชนชนบทในละตินอเมริกาและคาริบเบียนมีการใช้น้ำต่อคนต่อวันมากที่สุดในพิสัย 70-190 ลิตร ส่วนในแอฟริกาใช้น้อยที่สุดเพียง 15-35 ลิตร ในขณะที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ใช้ในพิสัย 30-70 ลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของทั้งโลก 35-90 ลิตร

นอกจากจะมีการใช้น้ำในชีวิตประจำวันในครอบครัวแล้ว หากมีโอกาสมนุษย์ก็ยังนำทรัพยากรน้ำมาไปใช้ในขบวนการอุตสาหกรรม (การผลิตไอน้ำ การหล่อเย็น ขบวนการผลิต และการผลิตไฟฟ้าจากเขื่อน) เกษตรกรรม (การเลี้ยงสัตว์ การประมง การชลประทาน) การคมนาคมและเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจด้วย (ณรงค์ และกรรณิการ์, 2528)

2. ต่อพืชและการผลิตพืช

2.1 ต่อพืช

น้ำ (ในรูปของของเหลว) อากาศ (CO_2 ในบรรยากาศและ O_2 ทั้งในบรรยากาศและในดิน) และดิน (ธาตุอาหารพืชที่พืชจะต้องดูดไปใช้ในรูปของไอออน 13 ธาตุ) ซึ่งล้วนเป็นสารอนินทรีย์ที่ทำให้พืชนำเอาไปใช้ สังเคราะห์สารอินทรีย์ขึ้นมาได้เราจึงเรียกพืชว่าเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศ สำหรับบทบาทของน้ำต่อพืชนั้นมีมากมายและมีอธิบายไว้ในตำราทางสรีรวิทยาของพืช เช่น Salisbury and Ross (1969), เฉลิมพล (2542) และ สมบุญ (2548) และบางส่วนทางด้านน้ำในดินของ Russel (1961) ของ Black (1968) ของ Brady and Weil (2002) ของคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) และของไพบูลย์ (2549) ในที่นี้จะขอรายงานไว้โดยสังเขป ดังนี้

2.1.1 เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืช

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่ควบคุมเมตาบอลิซึมของพืชทั้งหมดจะเกิดไม่ได้หากมีน้ำในแต่ละเซลล์น้อยเกินไป (Salisbury and Ross, 1969) พืชล้มลุกจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ในไม้เนื้อแข็งจะมีน้ำอยู่เพียงประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ (Kramer, 1937) เพราะในส่วนต่างๆ (Organs) ของพืชมีเนื้อเยื่อ (Tissues) เป็นองค์ประกอบไม่เหมือนกัน และในแต่ละเนื้อเยื่อก็มีชนิดของเซลล์เป็นองค์ประกอบไม่เหมือนกัน เซลล์ที่เกิดใหม่ๆ ของต้นอ่อนมักจะมีน้ำมาก แต่เมื่อมีพัฒนาการมากขึ้นและอายุของต้นไม้นั้นๆ มากขึ้น ปริมาณความชื้นของพืชก็จะค่อยๆ น้อยลง (Whaley *et al.*, 1964) แต่ Brady and Weil (2002) เชื่อว่าส่วนของพืชสดโดยรวมน่าจะมีน้ำอยู่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ Salisbury and Ross (1969) กล่าวว่า ไม้พุ่มทะเลทรายพวกครีโอโสต (Creosot Bush) ในทวีปอเมริกาเหนือและใต้ ก่อนที่ใบจะคายน้ำจะมีความชื้นเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพืชทั่วไปใบจะคายเมื่อมีความชื้น 50-70 เปอร์เซ็นต์

2.1.2 เป็นวัตถุดิบในขบวนการสังเคราะห์แสง

น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนั้นจะต้องมาจากดินและอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กในดิน ถ้าหากมีน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่ ก็แสดงว่าดินนั้นอิ่มตัวด้วยน้ำหรือมีน้ำท่วมขัง ซึ่งพืชบกส่วนใหญ่จะทนไม่ได้ เพราะรากพืชจะขาด O_2 เพื่อการหายใจ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ใน

ขบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) นั้นพืชจะต้องใช้น้ำ (H_20) 6 โมเลกุล มาทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 6 โมเลกุล ในเวลากลางวันโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลด์ กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาแล้วได้กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 1 โมเลกุลกับแก๊สออกซิเจน (O_2) 6 โมเลกุล ดังสมการ

$$6H_20 + 6CO_2 \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลด์}]{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

2.1.3 เป็นตัวระบายความร้อนออกจากผิวใบ

เมื่อใบพืชดูดซับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ช่วงแสงสั้นกว่าแสงสีม่วง ช่วงคลื่นสั้นเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นคลื่นความร้อนและทำให้เซลล์พืชตายได้ ถ้าหากความร้อนนั้นมิได้ถูกระบายออกไป น้ำเหลวที่ไหลมาตามท่อจนถึงปากใบจะเป็นตัวระบายความร้อนออกไปจากผิวใบโดยขบวนการคายน้ำ (Transpiration) กล่าวคือ น้ำเหลวนั้นจะดูดซับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นมาเปลี่ยนสถานภาพของน้ำเหลวให้เป็นไอน้ำ แล้วไอน้ำนั้นก็จะแพร่ออกจากปากใบออกสู่บรรยากาศ อุณหภูมิของใบจึงปกติ (Millar *et al.*, 1965 และ Sutchiffe, 1979)

2.1.4 ช่วยรักษาความเต่งของเซลล์

น้ำที่อยู่ในแวคคูโอลของไซโตพลาสซึม ภายในเซลล์พาเรนไคมามีบทบาทช่วยให้เกิดความเต่งของเซลล์และสามารถทรงตัวอยู่ได้ นอกจากนี้การได้รับน้ำและสูญเสียน้ำของแวคคูโอล จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของพืช เช่น การเปิดและปิดของปากใบ การบานและหุบของใบไมยราบ การยืดตัวของเซลล์เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ตลอดจนการยืดตัวของท่อละอองเกสรตัวผู้ที่ทำให้เกิดการผสมเกสรด้วย (Meidener and Sheriff, 1976)

2.1.5 เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารต่างๆ

น้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา (Reactant) ทางชีวเคมีที่สำคัญ เช่น การสร้าง Malic Acid จาก Fumaric Acid ใน Kreb's Cycle ในขบวนการสร้างอาหารของพืชและการสลาย Polypeptide เป็น Glucose ในการงอกของเมล็ด (Meidener and Sheriff, 1976; Sutcriffe, 1979)

2.1.6 เป็นตัวกลางของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

ปฏิกิริยาทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นทางเคมีหรือชีวเคมีจะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีน้ำเป็นตัวกลาง เพราะไอออนต่างๆ จะตกตะกอน (Precipitate) และ Enzyme ทั้งหลายซึ่งปกติจะเป็น Colloid ก็จะเกิด Coagulation เพราะน้ำเป็นตัวทำละลาย (Solvent) ในธรรมชาติที่ดีที่สุด

2.1.7 เป็นตัวพา

เนื่องจากน้ำเป็นของไหล ย่อมจะไหลจากบริเวณที่มีศักย์น้ำสูงไปยังบริเวณศักย์น้ำที่ต่ำกว่าเสมอ น้ำเหลวจะไหลพาไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชในดิน ซึ่งไหลมาสัมผัสกับผิวรากพืชเข้าไปสู่รากพืชโดยไม่ใช้พลังงาน (Passive Uptake) และโดยใช้พลังงาน (Active Uptake) แล้วเคลื่อนย้ายจากรากขึ้นไปส่วนบนของพืชผ่านท่อน้ำ (Xylem) ไปยังใบแล้วพาสารอาหารที่สังเคราะห์ที่ใบแล้วไปยังส่วนต่างๆ ของลำต้นผ่านท่ออาหาร (Phloem) ดังรายละเอียดของกลไกที่อธิบายไว้แล้วในสุนทรี (2535)

2.1.8 เป็นตัวทำละลายสารอนินทรีย์ในดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืช

น้ำในพืชบกจะมีความสัมพันธ์ทางตรงอย่างใกล้ชิดกับน้ำในช่องว่างขนาดเล็กในดิน น้ำในดินส่วนนี้จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการไหลของไอออนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ให้ไหลมาสัมผัสกับรากพืชได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมี เพราะปุ๋ยเคมีส่วนใหญ่เป็นเกลือที่ละลายน้ำง่าย คือ มีค่า Ksp สูง เมื่อในดินมีน้ำในช่องว่างขนาดเล็กมาก น้ำในดินนั้นก็สามารถละลายปุ๋ยเคมีให้กลายเป็นไอออน เพราะต่างก็เป็นสารมีขั้ว (Polar Compounds) (Russel, 1961; Black, 1968; Brady and Neil, 2002) ไอออนในน้ำเหล่านี้จะไหลมาสัมผัสกับรากพืชโดยขบวนการ Mass-Flow ตลอดเวลากลางวันเพื่อลำเลียงน้ำมายังรากให้รากพืชดูดน้ำเข้าไปด้วยขบวนการ Osmosis เข้า

ไปในรากแล้วถูกลำเลียงผ่าน Xylem ไปยังใบเพื่อระบายความร้อนออกไปจากผิวใบโดยขบวนการ Transpiration ดังได้กล่าวแล้ว ส่วนไอออนในน้ำก็ถูกพาเข้าไปในรากโดยขบวนการทั้ง Passive และ Active Uptake ดังได้กล่าวแล้วก็เป็นไปได้ โดยนำเอาทฤษฎี Double Layer ซึ่งไพบูลย์ (2528) อธิบายสำหรับไอออนในดินไว้ดังนี้ ที่เรียกว่า Double Layer ก็เพราะมี Layer ของประจุลบที่ผิวของ Clay และ Layer ของประจุบวกที่มา Neutralize ประจุลบ ไอออนที่ละลายอยู่ในสารละลายในดินนี้จะแบ่งเป็นสองกลุ่มคือ Inner Solution และ Outer Solution ในส่วนของ Inner Solution นั้นจะมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวคล้ายกับวุ้นที่เกาะติดกับอนุภาคของดินเหนียวเพราะโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้ม Cations ต่างๆ นั้นจะถูกประจุลบของอนุภาคดินเหนียว และ/หรือฮิวมัสดูดยึดไว้ด้วย Ionic Bond เข้าไปอัดแน่นอยู่เป็นสารละลายขึ้นในจนเต็มศักยภาพประจุลบของคอลลอยด์ ส่วน Outer Solution นั้นเป็น Cations ที่มากเกินประจุลบ และ/หรืออยู่ไกลเกินไปจากประจุลบซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนแรงดูดต่างประจุหมดไป เช่น กรณีของดินเค็มโซดิกซึ่งมี Na^+ มากที่สุด เพราะ Na^+ ดูดยึดโมเลกุลของน้ำได้มากจึงทำให้มีขนาด (Hydrated Size) ใหญ่มาก แต่มีเพียงประจุเดียวเมื่อเข้าไปอยู่เต็มชั้นย่อยต่างๆ ใน Inner Solution แล้วยัง Balance ประจุลบที่ผิวของคอลลอยด์ไม่หมดแต่ความหนาของ Double Layer มากที่สุดแล้วจนเกินอำนาจดูดของของประจุลบของคอลลอยด์แล้ว ดังนั้น Na^+ และ Cl^- ในสารละลายดิน ซึ่งอยู่นอกเหนืออำนาจดูดยึดของอนุภาคคอลลอยด์ดินแล้วจึงเคลื่อนย้ายได้เป็นอิสระตามศักย์ของน้ำในดิน Ion ใน Outer Solution นี้เอง ที่จะไหลได้โดยจะไหลไปสู่บริเวณที่มีศักย์น้ำต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดที่ใกล้รากที่สุด โดยปกติ Colloidal Clay จะมีประจุลบ ส่วน Humus นั้นในเขตร้อนชื้นนั้นมักจะมีประจุได้ทั้งลบและบวกโดยประจุลบจะเกิดจากการแตกตัวของ Carboxylic และของ Phenolic Groups ใน H จะถูก OH^- ดึงเอาไปเป็น H_2O ส่วนประจุบวกนั้นเกิดจากขบวนการ Protonation โดย H^+ ที่เกิดจากการแตกตัวของ H_2CO_3 เป็น H^+ กับ HCO^-_3 จะถูก NH_2 group ของ Humus ดูดยึดไว้แน่น ดินในเขตร้อนชื้นมักจะมีความเป็นกรดเพราะจะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินเพราะสิ่งที่มีชีวิตในดินมากและเกือบทั้งปี (ยกเว้นฤดูร้อน) จึงมี CO_2 เกิดขึ้นมาก เพราะ CO_2 นี้จะทำปฏิกิริยากับ H_2O กลายเป็น H_2CO_3 และแตกตัวให้ H^+ ดังกล่าวแล้ว H^+ ของรากจะไปเกาะแน่นกับ $–HH_2$ Group ของ Humus แล้วยังจะไปไล่ที่ Basic Cations ที่อยู่ใน Inner Solution ด้วยเพราะ H^+ นี้มี Replacing Power สูงที่สุดเท่าเทียมกับ Al^{+++} ซึ่งมี 3 ประจุ เหตุที่ H^+ มี Replacing Power สูงที่สุดก็เพราะมีขนาดเล็กที่สุดจึงเข้าไปอยู่ได้นี้ประจุลบของคอลลอยด์มากที่สุดและไล่ที่ Basic Cations ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ามากออกไป Basic Cations ในดินในเขตร้อนชื้นจึงสูญเสียไปจากดินตลอดเวลาโดยขบวนการ Leaching อนึ่งเพราะทั้ง Humus และ Clay ต่างก็เป็น Polymers จึงเกาะด้วยพันธะหลายประเภทได้ ดังนั้นดินในเขตร้อนชื้นทั่วไปจึงมักมีทั้งประจุลบและ

บวกได้และสามารถดูดยึด Anions ไว้ที่ฝั่งของ Colloids ได้ด้วย แต่ส่วนใหญ่เป็นประจุลบ เพราะดินในเขตร้อนชื้นที่ทำการเกษตรมี Humus ต่ำมาก

2.2 ต่อการผลิตพืช

"พืชที่มีการผลิตเป็นพืชเกษตรซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ผลิตขึ้นมาเพื่อเก็บเกี่ยวเอาไปเพื่อการอุปโภคและบริโภค และเป็นสินค้าประเภทอาหารและเพื่อเอาเส้นใยมาทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม พืชเหล่านี้จะต้องผลิตให้ได้มากๆ เพื่อให้พอกับความต้องการของมนุษย์ซึ่งมีประชากรเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา ดังนั้นความต้องการน้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงของพืชเกษตรจึงมากกว่าพืชป่ามาก จึงควรจะต้องศึกษาให้รอบคอบเพื่อให้เหมาะสมกับทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ ประเทศไทยเราเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีชื่อเสียงทั่วโลก เพราะสามารถส่งออกสินค้าเกษตรได้เป็นอันดับหนึ่งของโลก และในอันดับต้นๆ อีกหลายประเภท แต่น่าเสียดายที่ความสำเร็จของการส่งออกเกิดมาจากการขยายพื้นที่เพาะ ปลูกมากกว่าการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ไม่เหมือนกับประเทศคู่แข่ง ประเทศเหล่านั้นเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมของสินค้าได้โดยใช้เทคโนโลยีทางการ เกษตรสมัยใหม่ทั้ง 5 คือ ต้องใช้พันธุ์ดี มีการใส่ปุ๋ยเคมี มีการฉีดพ่นด้วยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีการให้น้ำ (ชลประทาน) และมีการใช้เครื่องทุ่นแรง หากไม่สามารถลดต้นทุนการผลิตได้โอกาสส่งออกสินค้าเกษตรคงจะต้องลดน้อยถอยลงอย่างรวดเร็ว การลดราคาสินค้าเกษตรของผู้ส่งออกเพื่อแข่งขันกับเวียดนาม ซึ่งเป็นผู้ส่งออกข้าวคู่แข่งที่สำคัญที่สุดของเราด้วยการลดราคารับซื้อภายในจะเร่งให้เกษตรกรละทิ้งอาชีพเกษตรกรรมเร็วขึ้นและสร้างปัญหาให้กับสังคมมากขึ้น ประกอบกับการขาดความรู้ที่ถูกต้องทางด้านทรัพยากรที่ดินและการใช้ที่ดินอย่างถูกต้องและเป็นธรรมกับความไม่รู้เรื่องนี้ของรัฐบาล ตั้งแต่มีแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 1 เป็นต้นมา ทำให้ที่ดินบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนใต้ ซึ่งครอบคลุมกรุงเทพฯ และปริมณฑล และจังหวัดใกล้เคียงซึ่งมีดินดีและน้ำดีนั้นถูกนำมาใช้สร้างเมืองและการอุตสาหกรรมทั้งๆ ที่ขาดความเหมาะสมทางวิศวกรรมเป็นอย่างยิ่ง และหากยังไม่ตระหนักถึงความหายนะในอนาคตพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง (Moormann and Rojanasoon, 1968) ทั้งหมดก็จะเหลือน้อยที่สุด พื้นที่ราบลุ่มภาคกลางนี้เหมาะสมที่สุดต่อการผลิตข้าว ซึ่งสามารถผลิตพืชไร่ล้มลุกหลังนาได้อย่างดียิ่งด้วยหากมีการนำเอาทฤษฎีการใช้ที่ดินใหม่ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมาประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม และให้มีการผลิตข้าวกล้องภายในครัวเรือนของเกษตรกรเองเพื่อการบริโภคของตนเองและเพื่อส่งต่อไปยังโรงสีข้าวสหกรณ์ก็จะมีแกลบเอามาใช้ปรับปรุงดินเหนียวให้ร่วน สามารถปลูกพืชไร่หลังนาได้เป็นอย่างดีก่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนได้อย่างแท้จริง ไพบูลย์ (2543) ยกย่องให้บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางนี้ว่าเป็นแผ่นดิน

ทองของชาติด้วยเหตุผลถึง 18 ประการ และยังได้ชี้แนะหลักการแก้ปัญหาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศทั้งหมดไว้ด้วย การส่งเสริมให้ผลิตพืชไร่เพื่อการส่งออกทั้งหมดล้วนเป็นการทำลายพื้นที่ป่าโดยตรงเพราะเป็นที่ดอนไม่มีปัญหาน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำให้พื้นที่ป่าซึ่งเคยมีอยู่ 58.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเริ่มมีแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 1 (แผนกสถิติการเกษตร, 2505) ลดเหลือเพียง 25.3 เปอร์เซ็นต์ ในปี 2541 (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2544) การส่งเสริมให้มีการผลิตพืชที่ดอน (Upland Crops) เป็นต้นเหตุของการทำลายป่าที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะเมื่อปี 2504 มีพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดเพียง 17.57 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนใหญ่ (11.81 เปอร์เซ็นต์) เป็นนาข้าว (แผนกสถิติการเกษตร, 2505) และเมื่อปี 2541 ก็มีพื้นที่ถือครองทางเกษตรและพื้นที่ที่มิได้จำแนกซึ่งจะต้องรวมพื้นที่ป่าซึ่งเป็นพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมอยู่ด้วยถึง 40.7 และ 34.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2544) เหตุที่ทำให้พื้นที่ป่าถูกบุกรุกเพื่อทำการเกษตร ทำให้ดินเสื่อมจนกลายเป็นป่าเสื่อมโทรมนั้น ไพบูลย์ (2549) ได้อธิบายไว้ชัดเจนแล้ว ดังกล่าวแล้วว่านอกจากน้ำแล้ว การเพิ่มผลผลิตของพืชเกษตรตามเทคโนโลยีสมัยใหม่ยังจะต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมีและปัจจัยอื่นๆ อีก 3 ประการดังได้กล่าวแล้ว ในที่นี้จะขอรวบรวมความรู้เกี่ยวกับปุ๋ยเคมีเพื่อทำให้นักอนุรักษ์บางท่านที่เข้าใจผิดคิดว่าเป็นต้นเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมไว้พอสมควรด้วยดังนี้ ความสำคัญของปุ๋ยเคมีต่อการเกษตรของประเทศไทยนั้น ไพบูลย์ (2540) ได้รายงานไว้โดยละเอียดแล้ว ในรายงานดัง กล่าว ไพบูลย์ (2540) ได้นำเอาข้อมูลของ FAO (1990) มาแสดงให้เห็นว่า ประเทศไทยเราในช่วงปี 2530-2532 มีการใช้ปุ๋ยเคมีน้อยที่สุดในเอเชีย (ไม่รวมประเทศลาว เขมร และพม่า เพราะไม่มีข้อมูล) คือใช้ปุ๋ย ($N+P_20_5+K_2O$) เพียง 4.7+6.2+6.2 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่เกาหลีใต้ใช้ไปในอัตราสูงสุดคือ 62.7+64.0+68.0 กิโลกรัมต่อไร่ แม้แต่เวียดนามในขณะนั้นก็ใส่ปุ๋ยมากกว่าของเราประมาณเท่าตัว คือ 10.4+10.8+13.2 กิโลกรัมต่อไร่ ไพบูลย์ (2540) ยังได้ใช้ข้อมูลของ FAO มาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยรวม (กิโลกรัมต่อไร่) กับผลผลิตของข้าวเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่) ในช่วงปี 2530-2532 ไว้ด้วย และพบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($r=0.93$, $n=27$) และสามารถพยากรณ์ผลผลิตของข้าวได้จากสมการ

ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) = 293.81 + 12.813 อัตราปุ๋ยรวม (กิโลกรัมต่อไร่)

หากสมการนี้ใช้ได้ในปี 2541 2542 และ 2543 ประเทศเวียดนามซึ่งมีผลผลิตข้าว 633 657 และ 680 กิโลกรัมต่อไร่ และประเทศไทยเราซึ่งมีผลผลิตเพียง 387, 388 และ 420 กิโลกรัมต่อไร่ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2544) ก็ควรจะมีการใช้ปุ๋ยรวมประมาณ 26.5 28.3 และ 30.1 และประมาณ 7.3 7.4 และ 9.8 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

การมีอคติต่อการใช้ปุ๋ยเคมีเพราะคิดว่าเป็นสารพิษเหมือนสารเคมีกำจัดพืชที่รุนแรงยิ่งขึ้นๆ แม้จะมีนักวิชาการทางด้านปฐพีวิทยาจะออกมาให้ข้อมูลที่แท้จริงว่าปุ๋ยเคมีเป็นของดีหลายครั้ง (ไพบูลย์ และสมเจตน์, 2534; ไพบูลย์, 2540) ก็มิได้ทำให้นักเกษตรกรรมธรรมชาติและ/หรือนักเกษตรอินทรีย์ตระหนัก กลับมีอิทธิพลเหนือรัฐบาลหลังปี 2544 มาตลอด ไพบูลย์ (2549) ยังได้วิเคราะห์ให้เห็นว่าการรณรงค์ให้มีการใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์นั้นไม่มีทางประสบผลสำเร็จได้เลย เพราะจะต้องใช้จำนวนมาก ล่าสุดไพบูลย์ (ติดต่อส่วนตัว) ได้ใช้ข้อมูลปุ๋ยหมักของญี่ปุ่น (Hashimoto and Ishikawa, 1965) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย (จำนวน 105 ตัวอย่าง) ของความชื้นและเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนพบว่ามี 75 และ 0.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มาคำนวณหาปริมาณปุ๋ยหมักที่ต้องการทำให้ข้าวโพดมีผลผลิต 500 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์พืชของ ชรินทร (2531) ที่ว่าข้าวโพดพันธุ์ดีควรจะมี Stover/Grain = 1.114 มีเปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนในเมล็ด 1.65 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนใน Stover 0.847 เปอร์เซ็นต์ มาคำนวณแล้วจำเป็นจะต้องใช้ปุ๋ยหมักถึง 66.5 ตัน และถ้า Inorganic N ที่ Mineralized มาจากปุ๋ยหมักนั้นมีเพียง 60 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่พืชจะใช้ได้แล้ว ก็จะต้องใช้ปุ๋ยหมักนี้ถึง 110.9 ตัน และถ้าหากอัตราเปลี่ยนรูปเศษพืชเป็นปุ๋ยหมักได้นั้นมีเพียง 1/3 แล้วเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก 110.9 ตันนี้ ก็จำเป็นต้องใช้เศษพืชถึง 332.6 ตัน จะหาเศษพืชมาจากไหน จะขนมาที่บ้านของเกษตรกรได้อย่างไร จะกองที่ไหน จะจัดการอย่างไร ล้วนมีคำถามตามมาอีกมากมาย ยิ่งปุ๋ยน้ำชีวภาพซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำแล้ว จะต้องใช้ปริมาณมากขนาดไหน

2.3 ความต้องการน้ำของพืชเกษตร

ความต้องการน้ำของพืชเกษตรผันแปรไปตามลักษณะการทนแล้งของพืช ประเภทของผลผลิตหรืออายุของพืชที่สามารถเก็บผลผลิตได้ วิธีการปลูกและฤดูกาล เป็นต้น ได้มีนักวิชาการพยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของน้ำซึ่งพืชจะใช้ได้ซึ่งจะต้องอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กในดินมาโดยตลอด Hellriegel (1983) อ้างโดย Black (1968) ได้ทำการทดลองการตอบสนองต่อน้ำที่ให้กับการให้ผลผลิตและน้ำหนักฟางแห้งของข้าวบาร์เลย์ที่ปลูกในทรายที่มีธาตุอาหารพืชครบถ้วน ผลปรากฏว่า เมื่อให้น้ำ 5 10 20 30 40 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ WHC (เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างทั้งหมด) จะให้ผลผลิต 0 6.7 73.3 92.4 100 85.2 และ 83.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลผลิตฟางแห้งจะเป็น 0.8 18.0 53.9 78.1 88.3 100 และ 85.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อให้น้ำไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ WHC ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นโค้งแล้วจึงค่อยๆ โค้งลง ส่วนผลผลิตฟางข้าวบาร์เลย์นั้นจะสูงขึ้นแบบเส้นโค้งเหมือนกัน แต่ด้วยอัตราที่ช้ากว่าและสูงสุดเมื่อให้น้ำ 60 เปอร์เซ็นต์ WHC การเพิ่มขึ้นของผลผลิตและของข้าวบาร์เล่ย์เมื่อได้รับน้ำชลประทาน

เพิ่มขึ้นนี้เป็นอิทธิพลโดยตรงของน้ำที่มีต่อเมตาบอลิซึมของพืช ส่วนการลดลงนั้นน่าจะเกิดจากน้ำเข้ามาแทนที่อากาศในวัสดุปลูก ทำให้รากข้าวบาร์เล่ย์หายใจได้น้อยลงจึงมีพลังงานเพื่อสร้างสารอินทรีย์ต่างๆ ภายในเซลล์และกลุ่มเซลล์ได้น้อยลง ต่อมาอีก 55 ปี Lange (1938) อ้างโดย Black (1973) ได้ทำการทดลองอิทธิพลของน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่างๆ ที่มีต่อผลผลิตของข้าวโอ๊ตที่ปลูกทดลองในทรายโดยศึกษาปริมาณไนโตรเจนในรูปของ NH_4NO_3 6 ระดับ คือ 0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 กรัม ไนโตรเจนต่อกระถาง และให้น้ำตลอดการทดลอง 3 ระดับ คือ 438 875 และ 1,750 กรัม H_20 ต่อกระถาง จากกราฟที่เสนอไว้ในหนังสือของ Black (1973) ทำให้สามารถคาดคะเนผลผลิตของข้าวโอ๊ตได้ และสามารถคำนวณหาผลผลิตสัมพัทธ์โดยให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อให้ปุ๋ยและน้ำมากที่สุด 132 กรัมต่อกระถาง เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วจะพบอิทธิพลของน้ำชลประทานที่มากขึ้นที่มีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมาสร้างผลผลิตของข้าวโอ๊ตอย่างเด่นชัด ดังนี้คือ เมื่อให้น้ำชลประทานเพียง 438 กรัมต่อกระถาง จะให้ผลผลิตสัมพัทธ์ 25.8 31.1 30.3 28.8 และ 15.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อให้น้ำชลประทานเพิ่มขึ้นเป็น 875 กรัมต่อกระถาง จะให้ผลผลิตสัมพัทธ์ 42.4 56.1 60.6 62.1 และ 62.1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มน้ำชลประทานขึ้นเท่าตัวเป็น 1,750 กรัมต่อกระถาง ผลผลิตสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 45.5 74.2 89.4 98.5 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจน 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับงานวิจัยของ Lange (1938) นี้ชี้ให้เห็นชัดเจนว่าการชลประทานจะช่วยส่งเสริมให้พืชดูดใช้ปุ๋ยเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่น่าเสียดายที่งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในกระถางโดยใช้ทรายที่ใส่ธาตุอาหารพืชครบถ้วน (Sand Culture) จนกระทั่งอีก 25 ปี ต่อมาจึงได้มีรายงานจากภาคสนามของ Ramig and Rhoades (1963) ซึ่งได้ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0 22 45 และ 90 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ของข้าวสาลีฤดูหนาว (Winter Wheat) ในดินซึ่งได้รับการชลประทานเฉพาะเมื่อเริ่มปลูกให้มีระดับ 0 7.4 และ 20.6 เซนติเมตรของน้ำที่เป็นประโยชน์ (ปริมาณความชื้นที่ F.C. (เปอร์เซ็นต์) - ปริมาณความชื้นที่ PWP (เปอร์เซ็นต์) ของดินในภาคตะวันตกของรัฐเนบราสกา จากกราฟที่ Black (1973) นำเสนอไว้ทำให้หาปริมาณสัมพัทธ์ของทั้งผลผลิตและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินทั้งหมดของข้าวสาลีฤดูหนาวได้ สอดคล้องกับผลงานของ Lange (1938) กล่าวคือการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนจะดีขึ้นเมื่อมีน้ำชลประทานเพิ่มขึ้น สำหรับผลผลิตสัมพัทธ์ที่ 0 เซนติเมตร Available Water จะเป็น 7.3 24.8 23.7 และ 20.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ 7.4 เซนติเมตร Available Water จะเพิ่มขึ้นเป็น 38.7 52.6 64.3 และ 64.3 เปอร์เซ็นต์ และที่ 20.6 เซนติเมตร Available Water จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 56.0 74.1 80.0 และ 100 เปอเซ็นต์ เมื่อได้รับปุ๋ย 0 22 45 และ 90 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสัมพัทธ์พบว่าตอบสนองดีกว่าผลผลิตสัมพัทธ์เล็กน้อย กล่าวคือที่ 0 เซนติเมตร Available Water จะเป็น 19.7 30.3 32.0 และ 32.0

เปอร์เซ็นต์ ที่ 7.4 เซนติเมตร Available Water จะเป็น 30.3 49.2 62.3 และ 68.1 เปอร์เซ็นต์ และที่ 20.6 เซนติเมตร Available Water จะเป็น 46.7 68.1 85.3 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจน 0 22 45 และ 90 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

จากผลงานของ Lange (1938), Ramig and Rhoades (1963) และ Hellriegel (1983) กระตุ้นให้รัฐบาลของประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตพืชเกษตรของโลกทั้งหลายได้มีการลงทุนพัฒนาระบบชลประทานให้กับพืชเศรษฐกิจ เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิตของพืชโดยการใช้ปุ๋ยให้กับพืชพันธุ์ดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Taylor and Ashcroft, 1972) ในประเทศไทยเราก็ได้พยายามที่จะพัฒนาระบบชลประทานเสมอมา โดยเริ่มต้นก่อนปี 2505 เพื่อลดความล้มเหลวจากการเกิดอุทกภัยซึ่งเป็นปัญหาของการทำนาปีเป็นส่วนใหญ่และในระยะหลังๆ เพื่อให้มีน้ำพอปลูกข้าวนาปรังและพืชหลังนาบ้าง แต่ปัจจุบันก็สามารถพัฒนาพื้นที่เกษตรน้ำฝนเป็นพื้นที่ชลประทานได้เพียง 31.2 ล้านไร่ หรือเพียงประมาณ 23.9 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรทั้งหมด (130.4 ล้านไร่) และเพียงประมาณ 9.7 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ (ประมาณ 320.7 ล้านไร่) เท่านั้น (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2544) เพื่อให้นักวางแผนการใช้ที่ดินวางแผนการผลิตพืชเศรษฐกิจได้อย่างเป็นรูปธรรม นักเกษตรชลประทานได้พยายามค้นคว้าหาความต้องการน้ำของพืชเกษตรต่างๆ (สุรีย์, 2519) และต่อมาดิเรก (2542) ได้เผยแพร่ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชต่างๆ ตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตดังที่เสนอไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำของพืชต่างๆ ตลอดฤดูกาลเจริญเติบโต หรือความต้องการน้ำของพืชต่อฤดูกาลเพาะปลูก

พืชไร่		พืชผัก		ไม้ผล	
พืช	$ม^3$/ไร่	พืช	$ม^3$/ไร่	พืช	$ม^3$/ไร่
ข้าว	1,984	กะหล่ำดอก	450	กล้วย	1,408-4,000
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	780	กะหล่ำปลี	450	นุ่น	384-480
ข้าวฟ่าง	480-640	กระเทียม	535	ยางพารา	2,400-4,000
งาข้าว	476-720	ข้าวโพดหวาน	650	ส้ม (30ต้น/ไร่)	2,000-3,360
งาดำ	432-560	คะน้า	370	มะม่วง (40ต้น/ไร่)	800-2,400

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พืชไร่		พืชผัก		ไม้ผล	
พืช	ม^3/ไร่	พืช	ม^3/ไร่	พืช	ม^3/ไร่
ถั่วเขียว	480	ถั่วข้าว	400	มะนาว	1,760
ถั่วดำ	350	ถั่วแขก	300	อินทผลัม	1,960
ถั่วทอง	300	ถั่วพุ่ม	400	มะขามเทศ	880
ถั่วลิสง	340-800	ถั่วลันเตา	300	กาแฟ	2,400-3,008
ถั่วเหลือง	320-500	ถั่วฝักยาว	400	ชา	2,400-4,000
ปอกระเจา	1,140	บวบต่างๆ	310	โกโก้	2,000-3,200
ปอแก้ว	870	ผักกาดขาว	450		
ฝ้าย	800-1,440	ผักกาดเขียว	350		
ละหุ่ง	960-1,200	ผักกาดหอม	350		
สัปปะรด	1,402	ผักชี	350		
อ้อย	1,420-3,136	ฟักเขียว	350		
มันสำปะหลัง	1,200-1,600	ฟักทอง	333		
ถั่วอาหารสัตว์	1,408-2,000	มะเขือต่างๆ	500-600		
หญ้าเลี้ยงสัตว์	1,120-1,280	มะเขือเทศ	500-650		
		ยาสูบ	500		
		แตงกวา	350		
		แตงร้าน	400		
		มันแกว	3,350		
		มันเทศ	500-680		
		มันฝรั่ง	500-650		
		หอมแห้ง	650		

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พืชไร่		พืชผัก		ไม้ผล	
พืช	ม^3/ไร่	พืช	ม^3/ไร่	พืช	ม^3/ไร่
		หอมหัวใหญ่	580-800		
		แตงโม	400		
		พริกไทย	3,405-4,000		

ที่มา: ดิเรก และคณะ (2542)

การเผยแพร่ความรู้เรื่องปริมาณน้ำที่พืชชนิดต่างๆ ต้องการของนักเกษตรชลประทาน (สุรีย์, 2519; ดิเรก และคณะ, 2542) เป็นความใจกว้างของทางราชการต่อประชาชนที่มีสิทธิ์ที่จะได้รับข้อมูลต่างๆ ของทางราชการ แต่การส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตพืชอะไรจึงจะเป็นผลดีต่อเกษตรกรและประเทศชาตินั้นจำเป็นต้องพิจารณาให้รอบคอบ เพราะเกษตรกรคือผู้ที่ยากจนที่สุดของแผ่นดิน ไพบูลย์ (2543) เสนอแนะว่าข้าวและพืชไร่อีก 8 ชนิด เท่านั้นที่ควรจะได้รับการส่งเสริมให้มีการผลิตเป็นพืชเศรษฐกิจที่แท้จริง เพราะมีการผลิตมากและน่าจะเกี่ยวข้องกับเกษตรกรจำนวนมาก กล่าวคือ จากการรวบรวมสถิติปริมาณผลผลิตทั้งหมดจากสำนักงานสถิติการเกษตรในปี 2531-2540 มีการผลิตข้าวนาปี ข้าวนาปรัง และพืชไร่อีก 8 ชนิด คือ ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง งา และฝ้าย ซึ่งมีการผลิตมากอยู่ในพิสัย 17.18±1.67 2.98±0.87 3.90±0.58 19.80±2.35 42.82±10.01 0.48±0.10 0.28±0.05 0.15±0.01 0.03±0.00 และ 0.09±0.02 ล้านตัน ตามลำดับ และควรผลิตพืชไร่อายุสั้นเพื่อเป็นการค้าเฉพาะในที่นาของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางโดยเป็นพืชหลังนา เพราะเป็นบริเวณที่มีทั้งดินและน้ำดีและองค์ประกอบอื่นๆ อีก ซึ่งไพบูลย์ (2543) ได้ให้เหตุผลไว้รวมทั้งหมด 18 ประการ เหตุที่ไพบูลย์ (ติดต่อส่วนตัว) ให้ผลิตพืชเศรษฐกิจเฉพาะในที่นาก็เพราะเล็งเห็นว่าการเกษตรนั้นต้องทำให้ดินเสื่อมแน่ๆ ด้วยเหตุผลใหญ่ 2 ประการ คือ (ก) ต้องมีการสูญเสียธาตุอาหารพืชในดินไปกับการเก็บเกี่ยวตลอดเวลา เพราะธาตุอาหารพืชในดิน 13 ธาตุ คือ N P K Ca Mg S Fe Mn Cu Zn B Cl และ Mo นั้นเป็นทรัพยากร ธรรมชาติประเภทที่ใช้แล้วหมดไป ดังนั้นเมื่อทำการเกษตรนานขึ้นๆ ดินก็ต้องเสื่อมลงๆ และ (ข) ถ้าทำการเกษตรในที่ดอน (ที่ๆ ไม่มีน้ำท่วมขังต่อเนื่องกันนานๆ เหมือนนาข้าวและไม่มีคันนา) ย่อมต้องเกิดการสูญเสียหน้าดินทุกครั้งที่ฝนตกลงมาบนผิวดินว่างเปล่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังการเตรียมดิน (การไถ การ

พรวน) เพื่อการปลูกพืชและกำจัดวัชพืชเพราะที่ดอนย่อมอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล น้ำไหลบ่าจึงพัดพาเอาอนุภาคของดินไหลลงสู่ที่ๆ ลุ่มกว่า และ/หรือลงสู่แหล่งน้ำ และลงทะเลไปในที่สุด ดินบนซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ที่สุด เพราะมีทั้งอนุภาคดินเหนียวและอนุภาคฮิวมัส ซึ่งเป็นคอลลอยด์ดินซึ่งดูดซับธาตุอาหารพืชรูปที่พืชดูดใช้ทันทีได้หายไปจากบริเวณที่ทำการเกษตรนั้นๆ ตลอดเวลาและเร่งให้ดินเสื่อมลงอย่างรวดเร็ว การพบไร่ร้างอยู่ทั่วไปตลอดสองฝากถนนหลักและรอง ในที่ที่เคยเป็นป่าเมื่อก่อนมีแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 1 เป็นต้นมา การส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตพืชไร่เพื่อการค้าที่ขาดการวางแผนการใช้ดินที่ดีและขาดมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำใดๆ ทำให้พื้นที่เกษตรเหล่านั้นเสื่อมโทรมลงภายใน 3 ปี และถูกทิ้งให้กลายเป็นไร่ร้างทั้งๆ ที่เวลาล่วงเลยมาเพียง 46 ปี ขณะที่ในที่นาซึ่งมีการทำนามาแล้วไม่น้อยกว่า 700 ปี ตั้งแต่สมัยที่กรุงสุโขทัยเป็นราชธานีเป็นต้นมาก็ยังคงทำนาอยู่ได้ การพบเห็นที่นาถูกทิ้งร้างอยู่นั้นมิได้เกิดจากความเสื่อมเพราะทำการเกษตรแต่ที่ถูกทิ้งร้างเพราะกรรมสิทธิ์ในที่ดินได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นของนายทุนซึ่งซื้อไว้เพื่อเก็งกำไรเพื่อการขยายตัวของเขตเมืองและเพื่อการอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการใช้ที่ดินที่ผิดประเภทที่น่ากลัวอันตรายที่สุด

การลงทุนทำระบบชลประทานเพื่อผลิตพืชไร่และพืชสวน (พืชในที่ดอยทุกชนิด) ของรัฐควรเลิกคิดและเลิกทำได้แล้วเพราะไม่คุ้มค่า (กับภาษีอากรของประชาชน) การวางแผนการใช้ที่ดินที่มีประสิทธิภาพและเป็นธรรมเท่านั้นที่จะสามารถขจัดปัญหาความยากจน สิ่งแวดล้อมและสังคมต่างๆ ได้หมด (ไพบูลย์, 2543) ไพบูลย์ (2500, มปป.) ได้เสนอว่าความต้องการที่ดินเชิงรูปธรรมของพื้นที่เมือง เกษตรกรรม และป่าที่จำเป็นจริงๆ และทำให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนได้นั้นเป็นเพียง 4.6 และ 110 ล้านไร่ และ 62.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเท่านั้น

เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้าสำหรับการผลิตพืชไร่ซึ่งทำอยู่ในที่ดอนอยู่แล้วให้ปลอดภัยจากภัยแล้ง ควรจะได้นำเอาผลงานวิจัยการอนุรักษ์น้ำด้วยการคลุมดินของกรมวิชาการเกษตร (สำเนา และคณะ, 2522) มานำเสนอดังนี้ นักวิชาการเกษตรที่เกี่ยวข้องได้ทำการทดลองระยะยาว 3 ปี คือ ปีพ.ศ. 2519-2521 โดยปลูกข้าวโพดในฤดูฝน (พ.ค. - ส.ค.) และปลูกถั่วเขียวปลายฤดูฝน (ก.ย. -ต.ค.) ในดินเหนียวสีแดงที่สถานีทดลองพืชไร่พระพุทธบาท ที่น่าสนใจมากคือในแปลงที่ใส่ปุ๋ย 62.5-62.5-0 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ของ N-P_2O_5-K_20 ให้เฉพาะกับข้าวโพด แล้วมีการคลุมดินด้วยฟางข้าว 4.6 ตันต่อเฮกตาร์ พบว่าในปีที่ฝนแล้ง (ปี 2520) ซึ่งมีฝนตกในช่วงปลูกข้าวโพดเพียงประมาณ 355 มิลลิเมตร และในช่วงปลูกถั่วเขียวในแปลงที่ใส่ปุ๋ยอย่างเดียวกับแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยเคมีและใช้ฟางคลุม มีผลผลิตสัมพัทธ์ 100 กับ 1506.9 เปอร์เซ็นต์ และ 100 กับ 277.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน

ในปีที่มีฝนดี (ปี 2519) ซึ่งมีฝนตกในช่วงปลูกข้าวโพด 558 มิลลิเมตร และในช่วงปลูกถั่วเขียว 506 มิลลิเมตร และทำให้ฝนตกทั้งปี 135.1 มิลลิเมตร ทั้งในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวและในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการคลุมดินให้ผลผลิตสัมพัทธ์ของข้าวโพดและถั่วเขียว 100 กับ 108.3 เปอร์เซ็นต์ และ 100 กับ 133.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่มีฝนชุก (ปี 2521) ซึ่งมีฝนทั้งปีสูงถึง 1,641.7 มิลลิเมตรนั้นมีฝนตกเฉพาะในช่วงปลูกข้าวโพดสูงถึง 818 มิลลิเมตร และในช่วงที่ควรจะปลูกถั่วเขียวนั้นก็สูงถึง 576 มิลลิเมตรนั้นในแปลงที่ใส่ปุ๋ยอย่างเดียวกับแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยเคมีและการคลุมดิน (ปลูกไม่ได้เพราะว่าน้ำท่วม) การอนุรักษ์ดินด้วยฟางข้าวและวัสดุคลุมดินอื่นๆ ระหว่างแถวของต้นพืชน่าจะได้ผลดีกับพืชเศรษฐกิจยืนต้นและ/หรือที่ไม่สามารถปลูกในนาได้ คือยางพารา และพืชพลังงานที่สำคัญ คือ ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ มันสำปะหลัง และอ้อย ซึ่งเป็นพืชที่ควรจะได้ค้นคว้าวิจัยและลงทุนผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าปิโตรเลียมก็จะประหยัดงบประมาณไปได้มาก

น้ำเสียชุมชน

1. ความหมายและแหล่งกำเนิด

กรมควบคุมมลพิษ (2537) ให้ความหมายน้ำเสียชุมชน ไว้ว่าเป็นน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขนาดต่างๆ โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงานและสถานที่ทำงานนานาชนิด น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งน้ำเสียชุมชนต่างๆ จะมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากนัก สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการปรุงอาหาร การล้างภาชนะ รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดบ้านเรือน รถ ฯลฯ น้ำเสียชุมชน เป็นน้ำเสียที่มีส่วนประกอบค่อนข้างคงที่ เนื่องจากประชากรในชุมชนมีการประกอบกิจกรรมที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก

ขวัญฤดี (2548) กล่าวว่าแหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน คือ น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงและเน่าเสียในที่สุด กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ทำให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่

1.1 บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหารจากการล้างจาน และภาชนะหรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้า สิ่งของต่างๆ ภายในบ้าน และการอาบน้ำ ซึ่งบ้านพักส่วนใหญ่จะมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150-216 ลิตรต่อคนต่อวัน หรือประมาณ 180 ลิตรต่อคนต่อวัน

1.2 ภัตตาคาร มีน้ำเสียที่เกิดจากห้องครัวและห้องส้วม โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องอาหารหรือภัตตาคาร อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

1.3 โรงแรม มีน้ำเสียจากห้องน้ำและห้องส้วมจากห้องพัก และห้องครัวจากภัตตาคารภายในโรงแรม อาคารสำนักงาน มีน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วม

1.4 กิจกรรมอื่นๆ เช่น สถานบริการอาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานบริการจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

สุเทพ (2549) กล่าวถึงน้ำเสียชุมชนว่าเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคาร บ้านเรือน ร้านค้า ตลาดสด ภัตตาคาร ร้านอาหาร สถานบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงพยาบาลและห้างสรรพสินค้า เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะมีปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ

น้ำเสียชุมชนมาจากหลายแหล่ง แล้วแต่ขนาดของเมืองและกิจกรรมที่มีในแต่ละเมืองและปริมาณน้ำเสียก็จะมากขึ้นถ้าหากมีประชากรเพิ่มขึ้น เสริมพลและชัยยุทธ์ (2524) รายงานว่า หากระบบน้ำประปาเป็นระบบให้น้ำเปล่า เช่น ในบริเวณที่พักอาศัยของทางราชการ ปริมาณน้ำใช้ต่อคนจะสูงมาก อาจสูงถึง 1,000 ลิตรต่อคนต่อวัน อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้น้ำที่สูงมากผิดปกตินี้ อาจเนื่องจากการรั่วไหลในระบบท่อประปาก็เป็นได้ และได้กล่าวเพิ่มเติมว่าประมาณร้อยละ 70-90 ของน้ำประปาที่ใช้ในระบบเป็นน้ำทิ้งแต่วิศวกรที่ปรึกษาได้ใช้ตัวเลขร้อยละ 85 ของน้ำประปาที่ใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำเสียที่ต้องกำจัด เสริมพล และไชยยุทธ์ (2524) ได้รวบรวมข้อมูลแหล่งของน้ำทิ้งที่จะมารวมกันในแหล่งรวมน้ำเสียชุมชนไว้ดังนี้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา

ประเภทอาคาร	ปริมาณน้ำทิ้งโดยเฉลี่ย (ลิตร/คน/วัน)
สนามบิน	
พนักงาน	71.3
ผู้อาศัย	23.7
ที่พักอาศัย	
บ้านแบบฟุ่มเฟือย	475.0
บ้านชั้นดี	421.0
บ้านชั้นกลาง	380.0
บ้านราคาถูก	333.0
บ้านพักร้อน ฯลฯ	237.0
อพาร์ทเม้นต์	356.0
โรงงาน(ไม่รวมน้ำทิ้งจากโรงอาหาร)	71.3
โรงพยาบาล	950.0
โรงแรม, หอพัก	237.5
สำนักงาน	71.3
ภัตตาคาร	
พนักงาน	71.3
อาหารแต่ละมื้อ	14.3 (ต่อมื้อ)
โรงเรียน	ประถม มัธยม
ไปกลับ	71.3 95.0
ประจำ	356.3 -
โรงภาพยนต์	23.7

ที่มา: เสริมพล และไชยยุทธ์ (2524)

2. สาเหตุการเน่าเสียของแหล่งน้ำ

ปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นในภาพรวมมีสาเหตุมาจากการระบายของเสียจากแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ ที่ไม่มีการบำบัดหรือปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนปล่อยออกเป็นน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เสียก่อนโดยเฉพาะในเขตเมืองต่างๆ แหล่งอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชนใหญ่ ปกติแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะเกิดการฟอกตัวเอง (Self-Purification) ได้ถ้าความสกปรกของน้ำที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำไม่มากเกินไปจนเกินความสามารถที่ธรรมชาติจะรักษาสมดุลไว้ได้ เกษม (2541) ได้สรุปสาเหตุไว้ดังนี้

2.1 การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร จำนวนประชากรของประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ดังนั้นการใช้ทรัพยากรน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการทำกิจกรรมต่างๆ จึงต้องเพิ่มมากขึ้นตามทำให้มีปริมาณน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นด้วยตามไป เพราะเมื่อใช้น้ำแล้วก็มักจะมีการระบายน้ำทิ้งโดยมิได้มีการบำบัด เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจึงทำให้เกิดการเน่าเสีย เพราะประมาณร้อยละ 85-90 ของน้ำที่ใช้จะแปรสภาพไปเป็นน้ำเสีย

2.2 การกระจายตัวของอุตสาหกรรมเนื่องจาก ประเทศไทยได้พัฒนาจากระบบเกษตรกรรมมาเป็นระบบอุตสาหกรรม ตั้งแต่แผนพัฒนาฉบับที่ 7 รัฐได้เน้นกระจายความเจริญไปสู่ภูมิภาคทำให้มีการลงทุนทางด้านเศรษฐกิจก่อให้เกิดนิคมอุตสาหกรรมในภาคต่างๆ ของประเทศ การกระจายตัวของอุตสาหกรรมเป็นผลให้มลพิษต่างๆ กระจายตัวมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากปัญหาน้ำเสียในแม่น้ำสายหลักของภาคต่างๆ เนื่องจากพบว่าความสกปรกในรูปของบีโอดีจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมที่ปล่อยออกมาในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาคิดเป็น 105,370 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนในบริเวณแม่น้ำท่าจีนคิดเป็น 120,000 กิโลกรัมต่อวันและในบริเวณแม่น้ำแม่กลองคิดเป็น 82,000 กิโลกรัมต่อวัน ทั้งนี้เพราะโรงงานอุตสาหกรรมยังจัดการน้ำเสียไม่ได้ถึงระดับมาตรฐาน (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2542) และในบางครั้งก็อาจมีการลักลอบปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลองด้วย

2.3 กิจกรรมทางการเกษตรกรรม น้ำเสียจากภาคเกษตรกรรมที่มีแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอนส่วนใหญ่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์แบบอุตสาหกรรม เช่น การเลี้ยงสุกร และกุ้งกุลาดำ ซึ่งมีการใช้น้ำมากและมักตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ ในปัจจุบันมีจำนวนบ่อเพาะเลี้ยงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของความสกปรกที่ระบายทิ้งจะมีค่าไม่สูงมากนัก (บีโอดี 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ปริมาณและความถี่ของการระบายสูงมาก จึงทำให้มีผลกระทบต่อแหล่งรองรับน้ำสูงเช่นกัน ผลกระทบของ

น้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์และบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากจะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงแล้ว ยังเป็นการเพิ่มสารอาหารส่วนเกินประเภทไนโตรเจนในแหล่งน้ำทำให้ผักตบชวาและวัชพืชน้ำเจริญเติบโตเป็นสาเหตุให้แหล่งน้ำเน่าเสีย

2.4 ปริมาณน้ำจากแหล่งธรรมชาติ จากการที่ป่าต้นน้ำลำธารถูกทำลายส่งผลให้เกิดสภาพแห้งแล้งในฤดูแล้งและเกิดอุทกภัยในช่วงฤดูฝน เพราะมีแหล่งเก็บกักและซึมซับตามธรรมชาติน้อย ทำให้ปริมาณน้ำจากต้นน้ำลดน้อยลง ลำน้ำจึงไม่มีน้ำและ/หรือมีอัตราการไหลต่ำในช่วงฤดูแล้ง ถึงแม้ว่าจะมีการสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อระบายน้ำลงมายังท้ายน้ำในช่วงฤดูแล้งแล้วก็ตามแต่ถ้าในบริเวณต้นน้ำลำธารมีสภาพวิกฤตกล่าวคือถูกบุกรุกเข้าไปตั้งถิ่นฐานทำให้เมื่อมีการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ แล้วระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ สิ่งสกปรกก็จะปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำนั้น เมื่อน้ำมีน้อยในฤดูแล้งมีการเจือจางสารปนเปื้อนนั้นได้น้อย จึงทำให้น้ำมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมากจึงทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำได้ในที่สุด

2.5 การแทรกตัวของน้ำเค็ม การรุกล้ำของน้ำเค็มทำให้สภาพนิเวศเดิมเปลี่ยนแปลงไปจนทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำเกิดเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและปริมาณจนอาจสูญพันธุ์ได้

2.6 ปัญหาจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การเกิดพายุในช่วงฤดูฝนทำให้เกิดน้ำท่วมในบางพื้นที่ทำให้เกิดการไหลบ่าชะสารกำจัดวัชพืช ลงมาปนเปื้อนในแหล่งน้ำทำให้วัชพืชน้ำในแหล่งน้ำนั้นตายและหากน้ำท่วมอยู่นานก็จะเน่าเสีย จากจุดที่มีวัชพืชมากไปยังบริเวณอื่นๆ ของลำน้ำนั้นเกิดความเน่าเสียได้ และหากฝนตกหนักจนนาข้าวเสียหาย ก็อาจก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำธรรมชาติที่รุนแรงได้ หากน้ำที่เกิดจากการเน่าของต้นข้าวซึ่งอุดมสมบูรณ์ไปด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ นั้นมีการระบายออกมาปนเปื้อนแหล่งน้ำ ซึ่งการเน่าเสียประการหลังนี้ไม่เกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยเคมีให้กับข้าวเพื่อให้ข้าวเจริญเติบโตได้ดี เพราะปุ๋ยเคมีได้เปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์ในต้นข้าวหมดแล้ว

3. ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสิ่งแวดล้อม

เกษม (2541) ได้สรุปผลกระทบจากความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำไว้ดังนี้

3.1 การประมง น้ำเสียชุมชนทำให้สัตว์น้ำต่างๆ เช่น ปลา กุ้ง หอย ตายหรือค่อยๆ ลดลง เพราะขาดแก๊สออกซิเจนหรือการลดน้อยถอยลงของออกซิเจนตามลำดับ เพราะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการหายใจย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ ส่งผลทำให้ขาด O_2 และไม่สามารถดำรงชีวิตและแพร่พันธุ์ได้ตามธรรมชาติ ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากสารเป็นพิษ เช่น สารกำจัดแมลง ศัตรูพืชและวัชพืช พบในบริเวณสวนผักและสวนผลไม้ อาจทำให้ปลาตายได้ทันที แต่ก็อาจทำลายสัตว์น้ำเล็กๆ และพืชที่เป็นอาหารของปลาและตัวอ่อนทำให้ปลาขาดอาหาร ในที่สุดปลาก็จะลดจำนวนลงก่อให้เกิดผลเสียหายต่อการประมงยิ่งขึ้น ปริมาณแก๊ส O_2 ที่ละลายในน้ำถ้าหากลดลงมากๆ ในทันทีก็อาจทำให้ปลาตายได้ นอกจากนี้น้ำเสียยังทำลายแหล่งเพาะวางไข่ของปลา เนื่องจากการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำเสียปกคลุมพื้นที่การวางไข่ของปลา ซึ่งเป็นการหยุดยั้งการแพร่พันธุ์ของสัตว์น้ำได้โดยทางอ้อม น้ำเสียที่ทำให้สภาพตามธรรมชาติของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความร้อนจากน้ำทิ้งใช้ระบบหล่อเย็น (Cooling Water) จากโรงงานอุตสาหกรรมทำให้อุณหภูมิปกติของแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจนปลาไม่อาจอยู่ได้และไม่อาจแพร่พันธุ์ตามธรรมชาติ น้ำมันที่ทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยการรั่วไหลจากเรือจะไปปกคลุมผิวน้ำ เพราะปกติน้ำมันจะไม่รวมตัวกับน้ำ เพราะมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ทำให้การเติม O_2 จากอากาศบนผิวน้ำตามธรรมชาติเป็นไปได้ยาก ซึ่งเป็นการขัดขวางการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายตามธรรมชาติ

3.2 การสาธารณสุข น้ำเสียเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เพราะมักก่อให้เกิดโรคระบาด เช่น อหิวาตกโรค ไข้ไทฟอยด์ โรคบิด เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคซึ่งไม่ใช่โรคที่เกิดจากเชื้อโรคเป็นตัวนำ ส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลสารที่เป็นพิษเจือปน สารเป็นพิษเหล่านี้ทำให้เกิดโรคทำลายสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งโดยตรงและโดยอ้อม เช่น โรคมินามาตะ เกิดจากคนรับประทานปลาที่มีสารปรอทสูง เป็นต้น

3.3 การผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค น้ำเสียกระทบต่อการผลิตน้ำดื่มเพราะแหล่งสำหรับผลิตประปาส่วนใหญ่ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง เมื่อแหล่งน้ำเกิดเน่าเสีย คุณภาพน้ำลดลง ค่าใช้จ่ายในขบวนการผลิตเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเข้าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มก็จะต้องเพิ่มขึ้น เมื่อแหล่งน้ำเสียเพิ่มขึ้น การเลือกแหล่งน้ำเพื่อการประปาก็ยิ่งยากขึ้นและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

3.4 การเกษตรกรรม น้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อการเกษตรที่เกี่ยวกับการผลิตพืช ส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่มีความเค็มและมีโซเดียมสูง มีความเป็นกรด-ด่างสูง มีปริมาณเกลืออนินทรีย์สูงหรือสารเป็นพิษปะปนอยู่ แต่ถ้าการเกษตรที่เกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์มักเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของสิ่งขับถ่ายของสัตว์ทั้งอุจจาระและปัสสาวะซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนแหล่งน้ำในประเทศเรามากที่สุด เพราะการเลี้ยงสัตว์แบบธุรกิจมักเลี้ยงใกล้แม่น้ำเนื่องมาจากต้องใช้น้ำมาก

3.5 ความสวยงามและการพักผ่อนหย่อนใจ แม่น้ำลำธาร แหล่งน้ำอื่นๆ ที่สะอาด เป็นความสวยงามตามธรรมชาติ ผู้คนใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ ในการว่ายน้ำ ตกปลา เล่นเรือ และอื่นๆ ถ้าหากแหล่งน้ำเหล่านี้เกิดการเน่าเสียหรือปล่อยให้มีขยะลอยอยู่ เช่น กล่องโฟม ถุงพลาสติก เป็นต้น ก็ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพจิตและสุขอนามัยของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำเน่าเสียอีกด้วย

4. คุณลักษณะของน้ำเสียชุมชน

ลักษณะของน้ำเสียชุมชนทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ทางนามธรรมนั้นมีผู้รายงานไว้มากแล้ว (นิรุต, 2539; พัฒนา, 2541; สุเทพ, 2550) แต่ในเชิงรูปธรรมยังมีไม่มากนัก ในที่นี้จึงขอนำเสนอข้อมูลเชิงรูปธรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ดังนี้

สารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน

จากเอกสารที่กล่าวถึงจึงทำให้น่าเชื่อว่าสารอินทรีย์เป็นมลสารหลักในน้ำเสียชุมชนเพราะประชากรที่อาศัยอยู่กันอย่างหนาแน่น ทุกครัวเรือนจะมีการใช้สารอินทรีย์ประเภทต่างๆ เพื่อประกอบอาหาร และใช้ในชีวิตประจำวันซึ่งจะปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งเมื่อมีการล้างและซักล้างเสมอ ดัชนีที่บ่งชี้การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำคือ ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เมื่อมีการบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน และค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ซึ่งเป็นวิธีการทางเคมีที่รวดเร็วกว่า แต่จะมีค่าสูงกว่าค่า BOD เสมอ เหตุที่เชื่อว่าสารอินทรีย์เป็นมลสารหลักเพราะในน้ำเสียชุมชนทุกแห่งมีค่า BOD และ COD สูงกว่าค่ามาตฐานน้ำทิ้ง 20 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) EPA (1980) รายงานว่าน้ำเสียจากแหล่งบ้านพักอาศัยของประชาชนในสหรัฐอเมริกามีค่า BOD และ COD ของน้ำเสียชุมชน มีอยู่ 3 ระดับ

คือ ต่ำ ปานกลาง และสูง โดยมีค่า BOD 100 200 และ 300 และมีค่า COD 250 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเร็วๆนี้ Reynodes and Richards (1966) ได้รายงานเปลี่ยนแปลงค่า BOD ในระดับสูงใหม่ กล่าวคือที่ระดับต่ำและปานกลางอยู่ระดับเดิมคือ 100 และ 200 ส่วนที่ระดับสูงนั้นเพิ่มจาก 300 เป็น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่า COD นี้ Reynodes and Richards (1966) ได้เปลี่ยนระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ของค่า COD ใหม่เป็น 230 453 และ 910 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้รายงานปริมาณ TOC, N และ P รูปต่างๆ ไว้ด้วย จึงได้นำเอามาแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

ส่วนประกอบ	ความเข้มข้น (mg/l)		
	มาก	ปานกลาง	น้อย
Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-days, 20 °C	400	200	100
Total Organic Carbon (TOC)	290	145	75
Chemical Oxygen Demand (COD)	910	455	230
Nitrogen (Total as N):	75	40	16
Organic	40	20	8
Free Ammonia	35	20	8
Nitrites	0	0	0
Nitrate	0	0	0
Phosphorus (Total as P):	15	8	4
Organic	5	3	1
Inorganic	10	5	3

ที่มา: Reynolds and Richards (1996)

แท้จริงแล้วดัชนีที่บ่งบอกความเป็นพิษของน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนที่ดีที่สุดคือค่า DO (Dissolved Oxygen) ในระดับน้อยของ EPA (1980) ก็มี Metcalf and Eddy (1991) รายงานไว้ด้วยว่า แม้ความเข้มข้นของ BOD และ COD เพราะเหตุที่ผู้บริโภคในแหล่งน้ำที่ตายลงที่แท้จริงนั้น

คือการขาดอากาศเพื่อการหายใจ DO เป็นศูนย์แล้ว ทั้งนี้เพราะสารอินทรีย์จากบ้านเรือนล้วนเป็นอาหารชั้นดีของผู้ย่อยสลายในน้ำเนื่องจาก Hammer and Bastain (1989) รายงานว่าในน้ำเสียของชุมชนมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันอยู่ในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูงถึงร้อยละ 25-50 40-60 และ 10 ตามลำดับ สำหรับในประเทศไทยเราก็มีการศึกษาเรื่องน้ำเสียชุมชนไว้แล้วมิใช่น้อยเช่น การศึกษาประเภทของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ทั้ง BOD และ COD จากห้องส้วม ห้องอาบน้ำ การซักผ้า และจากครัว มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งมากคืออยู่ในพิสัย 67-1,774 และ 202-2,904 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ธงชัย และคณะ, 2530 อ้างใน พัฒนา, 2541) และเมื่อนำข้อมูล BOD และ COD มาหาความสัมพันธ์กัน พบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r = 0.99$, $n = 7$) และสามารถคาดคะเนค่า BOD (ซึ่งใช้เวลาวิเคราะห์มากกว่า) ได้จากค่า COD (ซึ่งวิเคราะห์ได้เร็วกว่ามาก) ดังสมการ

$$BOD\ (mg/l) = -62.1 + 0.61\ COD\ (mg/l) \qquad (1)$$

ธงชัย และคณะ (2530) ยังได้รายงานความเข้มข้นของ BOD และ COD จากอาคารประเภทต่างๆ 10 ประเภท คือ หอพัก ภัตตาคาร โรงพยาบาล ตลาดสด อาคารสำนักงาน สถานบริการ อาบอบนวด ห้างสรรพสินค้า โรงภาพยนตร์ โรงแรมและอาคารชุด พบว่าผันแปรอยู่ในพิสัย 41-2,242 และ 96-3,101 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง BOD กับ COD ก็พบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.95$ $n = 12$) และสามารถคาดคะเนค่า BOD จากค่า COD ดังสมการ

$$BOD\ (mg/l) = 48.0 + 0.43\ COD\ (mg/l) \qquad (2)$$

น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งถูกส่งมาตามท่อรวบรวมไว้ที่บริเวณบ้านคลองยางซึ่ง (สิทธิชัย, 2538) ขนมาใช้ทดลองที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า พิสัยของค่า BOD และ COD ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม ปี 2537 อยู่ระหว่าง 33-93 และ 49-141 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่าทั้ง BOD และ COD นี้มีความสัมพันธ์ถึงระดับนัยสำคัญ ($r = 0.685$ $n = 9$) และสามารถพยากรณ์ค่า BOD ได้จากสมการ

$$BOD\ (mg/l) = 17.12 + 0.522\ COD\ (mg/l) \qquad (3)$$

ค่า BOD ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีในปีต่อมาก็มีผู้รายงานไว้ดังนี้ (สิทธิชัย, 2538; อาภรณ์, 2539; ยุพเยาว์, 2544; ธนัญชัย, 2545; สุกัญญา, 2548; อรทัย, 2550) อยู่ในช่วง 69.7±22.8 43.73±14.08 228±3,750 18±18.6 43.6±13.7 และ 31.2±13.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่สุกัญญา (2548) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง BOD กับ COD ในช่วงเดือนกันยายน 2547 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2548 มีความสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ เพราะให้ค่า r เพียง 0.412 (n = 10) และให้ข้อสันนิษฐานไว้ว่า สัดส่วนของการปนเปื้อนด้วยไขมันในน้ำเสียยังไม่แน่นอน เพราะการวิเคราะห์ค่า COD นั้นรวมปริมาณไขมันไว้ด้วย แต่ในค่า BOD นั้น คาดคะเนเฉพาะปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เท่านั้น เพราะใช้เวลาบ่มที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันเท่านั้น ผลการวิเคราะห์ปริมาณ BOD และ COD ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี ก่อนการบำบัดซึ่งถูกนำมาใช้วิจัยที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำรินั้นต่ำกว่าที่สิทธิชัย (2538) รายงานไว้มาก เพราะเป็นงานวิจัยหลังจากมีการวางท่อยาว 18.5 กิโลเมตรจากบ่อรวมน้ำเสียที่บ้านคลองยาง เพื่อนำน้ำเสียชุมชนนี้มาใช้ทดลอง ดังนั้นจึงน่าจะเกิดการบำบัดด้วยขบวนการที่ใช้ออกซิเจนบางส่วน

สุเทพ (2549) กล่าวว่า สารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพในน้ำเสียชุมชน แบ่งได้ 3 จำพวกหลักๆ คือ คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) โปรตีน (Protein) และไขมัน (Lipid) คาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลหลายหน่วยมารวมเข้าด้วยกัน ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตจะมีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน น้ำตาลที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนเดียวเรียกว่า โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) ซึ่งพบในธรรมชาติเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น ส่วนไดแซคคาไรด์ (Disaccharide) เป็นการรวมตัวกันของโมโนแซคคาไรด์ 2 หน่วย เช่น น้ำตาลทรายหรือซูโครส (Sucrose) ซึ่งเป็นการรวมตัวกันระหว่างกลูโคส (Glucose) และฟรุกโทส (Fructose) ขณะที่น้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบในนม คือ แลกโทส (Lactose) เป็นการรวมตัวกันระหว่างกลูโคสและกาแลกโตส (Galactose) สำหรับโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) เกิดจากน้ำตาลหลายหน่วยมาจับกันเป็นโซ่ยาว สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกเป็นแป้ง (Starch) ที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย พบมากในมันฝรั่ง ข้าวโพดและพืชอื่นๆ ที่สามารถรับประทานได้ ส่วนกลุ่มที่สองคือเซลลูโลส (Cellulose) พบในใยฝ้าย เนื้อไม้ และเนื้อเยื่อพืชทั่วไป สารประกอบเซลลูโลสมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพช้ามากเมื่อเทียบกับแป้ง

โปรตีนรูปแบบง่ายๆ เป็นสายโซ่ยาวที่มีกรดอะมิโน (Amino Acid) มาต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ โปรตีนประกอบด้วย ธาตุหลัก 4 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน บางครั้ง

พบซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส โดยโปรตีนเป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตและสารอาหารที่จำเป็นในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง

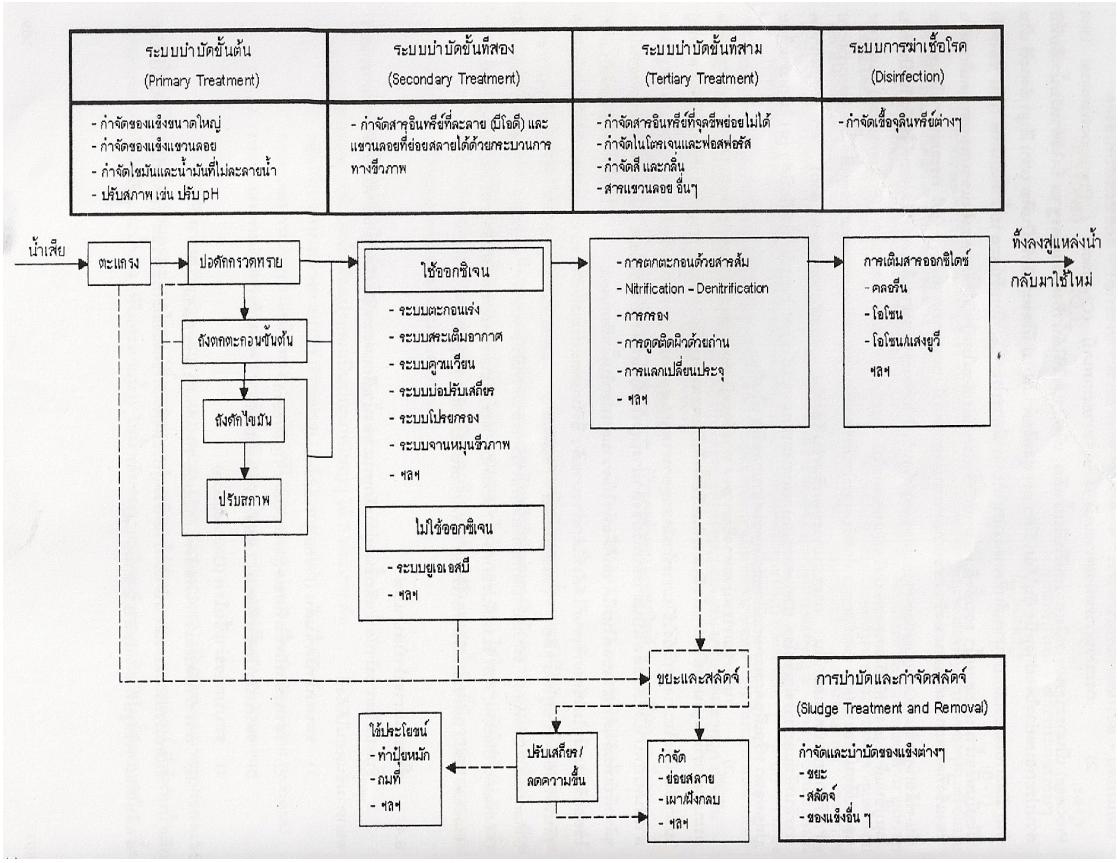
ไขมันเป็นสารประกอบทางชีวเคมีซึ่งสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ ในขณะที่ละลายน้ำได้น้อยมาก และไขมันยังเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้ามาก ไขมันรูปแบบสามัญคือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 หน่วยรวมกับกรดไขมันทั้งแบบอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวที่เป็นโซ่สั้นหรือยาว 3 ชนิด

คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันที่อยู่ในน้ำเสียส่วนมาก มีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์เข้าไปได้ จุลินทรีย์จะต้องปล่อยน้ำย่อยออกมาทำให้เกิด กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงเหล่านี้ถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ โดยทำให้คาร์โบไฮเดรตย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้โปรตีนกลายเป็นกรดอะมิโน และทำให้ไขมันกลายเป็นกรดไขมันที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งสามารถซึมผ่านเข้าไปภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ในสภาพที่มีออกซิเจนการย่อยจะทำให้เกิด คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมาในที่สุด ส่วนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ รวมทั้งก๊าซต่างๆ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเธน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สุเทพ, 2549)

หลักการบำบัดน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนสามารถถูกบำบัดได้ทั้งวิธีการทางกายภาพ เคมี และชีววิทยา แต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลายตามคำแนะนำของวิศวกรสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นวิธีการทางชีววิทยา เพราะในธรรมชาติมี Decomposers อยู่แล้วเพียงแต่ส่งเสริมให้ Decomposers ให้หายใจให้ได้ก็จะทำให้สารอินทรีย์ทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนซึ่งเป็นอาหารชั้นดีของ Decomposer นั้นถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสียได้ เสริมพล และชัยยุทธ์ (2524); พัฒนา (2541) และสุเทพ (2550) กล่าวถึง Decomposers ที่เกี่ยวข้องว่ามีทั้งพวกใช้ O_2 และไม่ใช้ O_2 ซึ่งแต่ละประเภทยังสามารถแบ่งออกได้เป็นแบบที่ล่องลอยอยู่ใน น้ำเสียและเกาะติดกับวัสดุตัวกลาง ระบบบำบัดก็มีหลายชนิด เช่น ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge , AS) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบชุดสัมผัสหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor) และระบบถังกรองอากาศ (Anaerobic Filter) เป็นต้น และได้กล่าวถึงขั้นตอนการบำบัด

น้ำเสียรวมทั้งน้ำเสียชุมชนไว้ด้วยว่ามี 5 ขั้นตอนคือ ก.ระบบบำบัดขั้นต้น ข.ระบบบำบัดขั้นที่สอง ค.ระบบบำบัดขั้นที่สาม ง.ระบบฆ่าเชื้อโรค และ จ.การบำบัดและกำจัดสลัดจ์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียและวัตถุประสงค์หลักของแต่ละกระบวนการ

ที่มา: สุเทพ (2550)

ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียที่วิศวกรสิ่งแวดล้อมแนะนำให้หน่วยราชการใช้มักประสบความล้มเหลว เพราะส่วนใหญ่จะต้องการพลังงานทุกขั้นตอนสูงมาก เพราะมักมีความสลับซับซ้อนของระบบสูง การดำเนินการและความต้องการในการบำรุงรักษาสูง บุคลากรของทางราชการซึ่งรับผิดชอบอยู่ปกติมักมีคุณภาพไม่สูงพอต้องขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญเสมอ และทุกระบบจะต้องมีสลัดจ์ที่จะต้องกำจัดซึ่งก็เป็นเรื่องที่ยุ่งยากมิใช่น้อย พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวตระหนักถึงปัญหาน้ำเสียและความยุ่งยากของระบบบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างดี จึงมีพระราชดำริให้มีการ

ค้นคว้าวิจัยหาเทคโนโลยีอย่างง่ายๆ ใช้ธรรมชาติกำจัดและ/หรือฟื้นฟูกันเอง ไม่ยุ่งยาก ไม่สลับซับซ้อน ค่าใช้จ่ายต่ำ และถ้าเป็นไปได้ต้องได้ผลตอบแทนคืนมาด้วยทั้งในรูปของผลผลิตและผลพลอยได้ พระองค์ได้ส่งคณะเจ้าหน้าที่มูลนิธิชัยพัฒนาข้าราชการ กปร.และข้าราชการกรมชลประทานให้ศึกษาดูงานของประเทศออสเตรเลียเรื่อง Grass Filtration เมื่อคณะศึกษาดูงานกลับมาประเทศไทยแล้วได้ให้ ศ.ดร.เกษม จันทร์แก้ว อดีตประธานโครงการวิจัยสิ่งแวดล้อมบึงมักกะสันที่ได้รับความสำเร็จมาแล้วเขียนโครงร่างและแผนการวิจัย เมื่อพระองค์ท่านทรงวินิจฉัยและหลังจากปรับปรุงแผนการวิจัยแล้วได้มอบหมายให้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เป็นผู้ดำเนินการวิจัยภายใต้การประสานงานของสำนักงาน กปร. เกิดเป็นโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งแต่ปลายปี 2534 เป็นต้นมา โดยมีมูลนิธิชัยพัฒนาเป็นฝ่ายสนับสนุนงบประมาณ (สุเมธ, 2543)

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช

หลักการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชนี้เป็นระบบที่ส่งเสริมให้ Facultative Anaerobes มาทำหน้าที่เป็น Decomposer ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ให้หายไปจากน้ำเสีย กล่าวคือ ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า BOD ลดลงแม้ไม่มีพืช แต่ที่ต้องมีพืชก็เพื่อให้พืชที่ทนน้ำท่วมได้นั้นช่วยขนย้ายมลสารที่ถูกบำบัดแล้วออกไปจากดิน และเมื่อตัดพืชออกเมื่อระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วก็เป็นการขนย้ายมลสารออกไปจากระบบแทนที่จะต้องมีการจัดการตะกอนออกไปจากระบบเมื่อใช้ Aerobes เป็น Decomposer จึงนับได้ว่าเป็นวิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก อนึ่งสารอินทรีย์กลุ่มโปรตีนจากน้ำเสียก็จะถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์จึงจะค่อยๆ กลายเป็นฮิวมัสซึ่งมีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งทางการเกษตรต่อไปด้วย นอกจากหลักการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบนี้ยังใช้วิธีธรรมชาติช่วยมากที่สุดซึ่งน่าจะนับว่าสนองพระราชดำริที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงใคร่ขออธิบายหลักการทำงานของระบบบางส่วนที่ได้มาจากความรู้เกี่ยวกับระบบนิเวศดินนา โดยมีกลไกการบำบัดดังนี้

1. กลไกการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช

หลักการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบดินน้ำขังสลับแห้งคือ การปล่อยให้น้ำขังดินอยู่ระยะเวลาหนึ่งแล้วระบายน้ำออกให้แห้ง (Flooding and Drying) เป็นรอบๆ ไป การบำบัดน้ำเสียระบบนี้เป็นการนำหลักของระบบนิเวศดินนามาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทาง

เคมีและชีววิทยาที่เกิดขึ้นสองแบบในแต่ละรอบของการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ สภาพที่มีแก๊สออกซิเจน (Aerobic หรือ Oxidative) เมื่อก่อนมีการขังน้ำและเมื่อมีการระบายน้ำออกแล้วปล่อยให้ดินแห้ง และสภาพที่ไร้แก๊สออกซิเจน (Anaerobic หรือ Reductive) เมื่อมีการปล่อยน้ำเข้าแปลงแล้วขังน้ำไว้ การขังน้ำทำให้เกิดสภาพไร้แก๊สออกซิเจน เพราะทันทีที่ดินมีน้ำขังจะเกิดการลดน้อยถอยลงของแก๊สออกซิเจนในดินจนปราศจากแก๊สออกซิเจนในที่สุดเพราะน้ำที่ขังอยู่ในบริเวณหน้าดินจะป้องกันแก๊สออกซิเจนจากบรรยากาศไม่ให้ซึมผ่านลงไปในดินได้ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายของโมเลกุลแก๊สออกซิเจนผ่านน้ำนิ่งช้ากว่าในอากาศมากกว่า 10,000 เท่า จากนั้นแก๊สออกซิเจนที่ถูกกักไว้ตามช่องว่างดินที่ถูกน้ำท่วมขังจะถูกจุลินทรีย์ที่ใช้แก๊สออกซิเจน (Aerobic Microorganisms) และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนและไร้แก๊สออกซิเจน (Facultative Microorganism) นำมาใช้เพื่อการหายใจหมดไปอย่างรวดเร็ว และยังคงมีกิจกรรมต่อไปโดยใช้สารประกอบต่างๆ ในดินซึ่งมีระดับเลขออกซิเดชั่นสูงเป็นตัวรับ อิเล็คตรอนและใช้คาร์โบไฮเดรตจากอินทรีย์วัตถุในดินรวมทั้งเศษพืชในดินเป็นตัวให้ อิเล็คตรอนก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นต่างๆ (Ponnamperuma, 1976) สารประกอบที่มีความสามารถในการเป็นตัวรับอิเล็คตรอนในดิน ได้แก่ ไนเตรท (NO_3^-) แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) เฟอริก ไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และกรดไพรูวิก (Pyruvic Acid) ซึ่งได้มาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ตามลำดับทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยที่เคมีพลศาสตร์ของการเกิดรีดักชั่น และชนิดตลอดจนปริมาณของสารที่ได้จากการเกิดรีดักชั่นขึ้นอยู่กับปัจจัย 5 ประการ คือ (1) ธรรมชาติและปริมาณของอินทรีย์วัตถุหรือตัวให้อิเล็คตรอน (2) อุณหภูมิ (3) ความเป็นกรด-ด่าง (4) ปริมาณและตัวรับอิเล็คตรอน และ (5) ช่วงเวลาที่ขังน้ำ (Ponnamperuma, 1972; ไพบูลย์, 2528 และทัศนีย์, 2543) การเกิดสภาพรีดักชั่นนี้แสดงให้เห็นชัดเจนว่า Decomposers ในดินนานั้นทำกิจกรรมได้เพราะสามารถหายใจแบบไร้ O_2 (Anaerobic Respiration) ได้เพราะมีตัวรับ อิเล็คตรอนอื่นๆ อยู่แล้วในดินโดยใช้อินทรีย์วัตถุในดินเป็นตัวให้อิเล็คตรอน ดังนั้นหากใส่น้ำเสียชุมชนลงไปในดินนาแทนน้ำชลประทานก็ควรจะยิ่งส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนได้ดีกว่าและสามารถปลดปล่อยแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากกว่าด้วย แต่ถ้าหากปล่อยให้น้ำเสียท่วมขังอยู่ได้ยาวนานเหมือนการทำนาของชาวนาคือต้องให้มีน้ำอยู่ในนาไม่น้อยกว่าเมื่อขังราว 2 สัปดาห์ (ไพบูลย์, มปป.) ก็จะทำให้ได้ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก กล่าวคือ (ก) ระบบบำบัดน้ำเสีย (BOD) ซึ่งถูกปล่อยออกมาจากชุมชนทุกวันนั้นได้น้อยครั้งมาก และ (ข) น้ำที่ขังอยู่นานจะเป็นที่แพร่พันธุ์ของยุงทำให้เกิดความรำคาญต่อประชาชนข้างเคียงแน่ๆ ดังนั้นถ้าหากระบายน้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วออกให้แห้งแล้วปล่อยตากแดดไว้ระยะหนึ่งก็จะทำให้ O_2 แทรกซึมลงไปตามรอยแตกระแหงก็จะเกิดผลดีทางด้านสิ่งแวดล้อมหลายประการกล่าวคือ (ก)

บำบัดน้ำสียได้บ่อยครั้งขึ้น (ซึ่งพบในโอกาสและใช้อยู่จนปัจจุบันนี้คือ ระบบ 5/2 หรือให้น้ำขัง 5 วัน แล้วปล่อยให้แห้ง 2 วันเหมาะสมที่สุด) (ข) เพราะน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่า BOD ไม่เกิน 500 มิลลิรัมต่อลิตร (ยุพเยาว์, 2544) ได้ภายใน 7 วัน ดังนั้นจึงขจัดปัญหาเรื่องยุงไปได้ (เพราะเวลาที่น้ำขังจริงเพียง 5 วัน) (ค) Decomposers ในดินจะเป็น facultative Anaerobes กล่าวคือ เป็น Anaerobes ขณะที่มีน้ำขังและเป็น Aerobes ขณะที่ระบายน้ำออกแล้วตลอดไป มิได้เป็น Obligate Anaerobes เหมือนกับในนาข้าว และ (ง) Decomposers พวก Aerobes ในสภาพที่มีความชื้นและสิ่งแวดล้อมเหมาะสมจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้สูงกว่า Obligate Anaerobes แน่เพราะ Anaerobic Respiration ให้พลังงาน (มีความสัมพันธ์ย่างใกล้ชิดกับค่า E^0_7 (V) ในตารางที่ 4) น้อยกว่า (Aerobes ได้พลังานมาจาก Aerobic Respiration ในสมการแรกได้สูงกว่าสมการล่างๆ มาก) นั่นคือ Facultative Anaerobes จะต้องได้พลังงานจากการหายใจสูงกว่า Obligate Anaerobes จึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้สูงกว่าแน่

ตารางที่ 4 ลำดับของปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดในดินน้ำขัง

system	E^0_7 (V)
$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$	0.814
$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- = N_2 + 6H_2O$	0.741
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- = 6H_2O$	0.401
$CH_3COCOOH + 2H^+ + 2e^- = H_3CHOHCOOH$	-0.158
$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- = Fe^{2+} + 3H_2O$	-0.185
$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- = H_2S + 4H_2O$	-0.214
$CO_2 + 8H^+ + 6e^- = CH_4 + 2H_2O$	-0.244
$N_2 + 8H^+ + 6e^- = 2NH_4^+$	-0.278
$NADP^+ + 2H^+ + 2e^- = NADPH$	-0.317
$NAD+ 2H^+ + 2e^- = NADH$	-0.329
$2H^+ + 2e^- = H_2$	-0.413
Ferredoxin (Ox) + e^- = Ferredoxin (Red)	-0.431

ที่มา: Ponnamperuma (1976)

สำหรับพืชนั้นจะทำหน้าที่ขนย้ายสารอินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ผ่านการบำบัดแล้ว ตลอดจนโลหะหนักในน้ำเสียออกไปจากน้ำโดยเข้าไปอยู่ในต้นพืช เมื่อตัดพืชเอาไปใช้ประโยชน์ก็เท่ากับเป็นการขนย้ายสารพิษออกไปจากระบบ ซึ่งจะง่ายกว่าและประหยัดกว่าการขนย้ายกากตะกอนไปทิ้งหรือจัดการต่อไปของระบบบำบัดแบบอื่น ซึ่งย่อมใช้ผู้ย่อยสลายที่ต้องการ O_2 เพื่อการหายใจ แต่พรพิมล (2542) เสนอว่า พืชที่นำมาปลูกนั้นระบบรากของพืชเป็นส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย คือ ทำหน้าที่เป็นที่เกาะของจุลินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในดิน ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารต่างๆ ในดินเพิ่มเติมจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนในแนวดิ่งของดินนาน้ำขังสลับแห้ง ซึ่งสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้แม้เมื่อไม่มีพืช และขอเสนอว่าการบำบัดน้ำเสียโดยพืชนั้นเป็นกลไกในแนวนอน กล่าวคือ รากพืชที่ทนน้ำท่วมได้จะต้องมีกลไกที่พาแก๊สออกซิเจนจากส่วนเหนือดินลงมาเลี้ยงรากได้ แล้วปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนบางส่วนออกมาที่ผิวรากโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณรากฝอย ทำให้ผู้ย่อยสลายที่ต้องใช้แก๊สออกซิเจนเพื่อการหายใจมาเกาะอยู่ที่รากดังกล่าวเพื่อใช้แก๊สออกซิเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขบวนการหายใจ แล้วใช้สารอินทรีย์จากคาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียเป็นตัวให้อิเล็คตรอนได้พลังงานและปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา และใช้สารอินทรีย์ประเภทโปรตีนเป็นองค์ประกอบของเซลล์เพื่อการแบ่งเซลล์และการเพิ่มประชากรอย่างรวดเร็วต่อไป โดยน้ำเสียชุมชนซึ่งมีสารอินทรีย์ ดังกล่าวจะไหลมาสัมผัสรากตลอดเวลาที่มีแสงเพราะพืชจะต้องใช้น้ำมารักษาอุณหภูมิของผิวใบให้ปกติโดยขบวนการคายน้ำ (Transpiration) ทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในน้ำเสียจึงถูกบำบัดได้เพิ่มขึ้น นอกจากจะถูกบำบัดในแนวดิ่งโดย Facultative Anaerobes ในขณะที่มีการขังน้ำ 5 วัน และบำบัดสารอินทรีย์ต่อโดย Aerobes ในขณะ ที่มีการระบายน้ำออกแล้วปล่อยให้แห้ง 2 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจึงควรจะสูงขึ้น

2. การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงของดินนาน้ำขังสลับแห้งเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการนำหลักการเปลี่ยนแปลงของดินนาน้ำท่วมขังร่วมกับพืชที่ทนน้ำท่วมขังมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง เนื่องจากน้ำเสียชุมชนมีสารอินทรีย์เป็นมลสารหลัก คือ มีค่า BOD สามารถเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ได้ โดยในดินนาจะมีจุลินทรีย์พวก Aerobes อยู่แล้ว โดยเฉพาะ Facultative Anaerobes นอกจากนี้ดินนายังมีธาตุอาหารพืชทุกชนิดปนอยู่ด้วยมาก เพราะธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอนุภาคดินเหนียว (ไพบูลย์ , 2528) ดินนามีความสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างสูง และสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชได้สูงอีกด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และมี Fe-P ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ฟอสเฟตหลัก (Pongphan, 1977) Fe-P นี้ จะเป็นประโยชน์ต่อพืชและจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี

ดินนาที่เป็นกรดเมื่อมีน้ำขังแล้วระยะหนึ่งจะมี pH สูงขึ้น และมีความเป็น Buffer ด้วย เนื่องจากมี Clay อยู่มาก แต่ถ้าหากขังน้ำไว้นานขึ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยรวมอาจน้อยลงได้ เพราะ Facultative Anaerobes จะขาดพลังงาน ดังนั้นถ้าหากขังน้ำไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้ Facultative Anaerobes ใช้สารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียนั้นเป็นตัวให้อิเล็คตรอน หรือเป็นแหล่งของพลังงาน แล้วใช้เหล็ก $Fe(OH)_3$ และ/หรือ NO_3^- และ MnO_2 เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในขบวนการหายใจแบบไร้แก๊สออกซิเจนให้กลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หายไป และใช้สารอินทรีย์ประเภทโปรตีนเป็นอาหารกลายเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ภายในเซลล์ของแบคทีเรีย ค่า BOD ของน้ำที่บำบัดแล้วจึงลดลง แล้วจึงระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกไปให้แห้งจนดินแตกระแหงสัก 2-3 วัน เพื่อให้สารประกอบ Fe(II) ถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น Fe(III) ก็ควรจะทำให้ Facultative Anaerobes นั้นทำงานได้ตลอดไป นอกจาก Facultative Anaerobes จะช่วยกำจัด Organic C แล้วยังทำหน้าที่เปลี่ยน Organic N ในน้ำเสียและในดินให้กลายเป็น NH_4-N ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนั้น Clay ที่มีอยู่ในดินนายังช่วยดูดซับอิออนต่างๆ ทั้ง Cation และ Anion ได้ด้วย เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวนี้จะดูดซับ Humus และ Humus นี้จะสามารถดูดซับ Anion ได้ด้วยประจุบวกที่เกิดจาก Protonated Ions (ไพบูลย์, 2528) ส่วนโลหะหนักที่ถูกดินดูดซับไว้นั้นอาจสะสมอยู่ในดินมากขึ้นจนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และจะทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดลดลงได้ ดังนั้นจึงควรจะต้องปลูกพืชที่ทนน้ำท่วมได้เอาไปดูดซับไอออนต่างๆ รวมทั้งโลหะหนักที่อยู่ในรูป Metal Chelate ให้หายไปจากระบบดินด้วย ถ้าหากเก็บเกี่ยวพืชที่ปลูกเมื่อถึงเวลาที่เหมาะสมออกไปก็เท่ากับเป็นการนำเอามลสารอื่นๆ ออกไปจากระบบด้วย

สิทธิชัย (2538) เป็นคนแรกที่ได้พิสูจน์สมมติฐานนี้โดยใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรใต้ป่าชายเลนบริเวณแหลมผักเบี้ยที่ตากแดดจนแห้งแล้ว นำมาทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้แผนการทดลองแบบ Split Plot Design มีระดับน้ำเสียชุมชน 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร เหนือผิวดินเป็น Main Plot และมีพืชที่ทนน้ำท่วมและดินเค็มได้ 3 ชนิด คือ กกกลม ธูปฤาษี และหญ้าคาลลาร์เป็น Sub Plot โดยทำการทดลอง 9 รอบ รอบละ 10 วัน คือ ขังน้ำ 7 วัน และระบายออกให้แห้งจนดินแตกระแหง 3 วัน เพื่อให้ได้ดินตะกอนดังกล่าว มี Macropores มากขึ้น โปร่งขึ้น สามารถยอมให้น้ำเสียแทรกซึมลงไปได้เร็วขึ้น และได้ผสมทรายหยาบลงไป 25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เนื้อดินเป็นดินร่วน (Loam)

ผลการทดลองประสบความสำเร็จอย่างดียิ่งเพราะสามารถทำให้ค่า BOD ก่อนการทดลอง ซึ่งส่วนใหญ่ผันแปรอยู่ในพิสัย 69.7±22.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือเพียงส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 10.0±2.88 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 10.19±2.90 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับอิทธิพลอิสระของ Main Plot และ Sub Plot ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่า BOD มาตรฐานของน้ำทิ้งคือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) มาก ต่อมาอาภรณ์ (2539) ได้ทดลองการบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีกับดินนาชุดสมุทรปราการจากตำบลแหลมผักเบี้ย ซึ่งผสมทราย 25 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แผนการทดลองแบบ Split Plot Design โดยมีระยะเวลาในการบำบัดรอบละ 6 8 และ 10 วัน ซึ่งมีการขังน้ำ 3 วันและระบายออกจนแห้งแล้วตากแดดไว้ 3 วัน หรือ 3/3 เปรียบเทียบกับ 5/3 และ 7/3 เป็น Main Plot และมีพืช 2 ชนิด คือ กกกลม ธูปฤาษี และดินเปล่าเป็น Sub Plot ผลการทดลองปรากฏว่าน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีค่า BOD ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 43.73±14.08 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้นจะถูกบำบัดได้อย่างดียิ่ง กล่าวคือ ค่า BOD จะลดลงเหลือต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทุกรอบของการทดลองทั้งใน Main Plot และ Sub Plot กล่าวคือ สำหรับอิทธิพลอิสระของ Main Plot นั้นที่ 3 5 และ 7 วันของการขังน้ำ BOD ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 6.58±1.34 4.18±0.83 และ 3.74±0.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับใน Sub Plot นั้น กกกลม ธูปฤาษี และดินเปล่าทำให้ค่า BOD หลังการบำบัดส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 3.92±1.16 3.78±0.49 และ 6.80±1.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การค้นพบของอาภรณ์ (2539) ชี้นำให้เห็นว่ากลไกการบำบัดน้ำเสียชุมชนนั้นมีทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน โดยทั้งกกกลมและธูปฤาษีนั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัด BOD ได้ดียิ่งขึ้นอย่างชัดเจน ต่อมาเจ้าหน้าที่ของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ใช้เวลาขังน้ำ 5 วัน แล้วระบายออกให้แห้ง 3 วันกับ 2 วันนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นต่อมาจึงใช้ระบบ 5/2 หรือขังน้ำ 5 วันสลับกับแห้ง 2 วัน เป็นมาตรฐาน เพราะระบบนี้ง่ายต่อการจัดการที่สุด ยุพเยาว์ (2544) ได้ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยดินร่วนระบบท่วมขัง (5 วัน) สลับแห้ง (2 วัน) ร่วมกับกกกลมโดยใช้ดินชุดสมุทรปราการที่ผสมทรายหยาบ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินทดลอง โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial ใน RCB มี 3 ซ้ำ โดยมีและไม่มีปูนมาร์ล และมีน้ำเสียชุมชนเข้มข้นสังเคราะห์ที่ทำให้เจือจาง 5 ระดับ คือ 0 50 66.7 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ด้านน้ำชลประทาน โดยทำการทดลอง 7 รอบ ซึ่งแต่ละรอบมีค่า BOD เข้มข้นแตกต่างกันในพิสัย 228-3,750 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า การมีปูนมาร์ลเพื่อลดปริมาณเหล็ก (Fe^{+4}) เป็นสิ่งไม่จำเป็น และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า BOD ไม่เกิน 550 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านระบบการบำบัดนี้แล้วจะเหลือค่า BOD ต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นมาตรฐานน้ำทิ้งได้ สืบเนื่องมาจากรายงานของอาภรณ์ (2539) ที่ว่าทั้งกกกลมและธูปฤาษีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ได้ดีกว่าดินเปล่า ทำให้สุกัญญา (2548) ได้นำเอาความคิดนี้มาพิสูจน์กับพุทธรักษา

ธรรมรักษา และขิงแดง เมื่อเปรียบเทียบกับดินเปล่าในแผนการทดลองแบบ 2x4 Split Plot Design โดยมีน้ำเสียชุมชนกับน้ำชลประทานเป็น Main Plot และมีพืชทั้ง 3 ชนิดกับดินเปล่าเป็น Sub Plot การทดลอง คือใช้ดินร่วนปนทรายที่มี Clay เพียง 11 เปอร์เซ็นต์ และดินร่วนที่มี Clay 21 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองสรุปได้ว่า ขิงแดงไม่สามารถทนน้ำท่วม 5 วันได้ และพุทธรักษาสามารถทนน้ำท่วม 5 วัน ได้ดีที่สุด การบำบัด BOD ด้วยระบบนี้ที่มีประสิทธิภาพจะต้องมี Clay ไม่น้อยกว่า 21 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถลดค่า BOD ก่อนการบำบัดซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 43.6±13.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือเพียง 7.7±3.9 9.8±4.6 และ 9.2±4.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแปลงพุทธรักษา ธรรมรักษา และดินเปล่า ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ และล่าสุด อรทัย (2550) ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัด BOD โดยกลไกในแนวนอนกับพุทธรักษา 3 พันธุ์ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเปล่า พบว่าดินที่มี Clay 21 เปอร์เซ็นต์ สามารถบำบัด BOD ของน้ำเสียชุมชนจาก 31.2±13.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือเพียง 1.6±0.6 1.9±1.2 1.5±0.9 และ 1.4±0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแปลงที่ปลูกพุทธรักษาต้นสูงใบม่วงดอกแดง ต้นสูงใบเขียวดอกเหลือง และต้นเตี้ยใบเขียวดอกชมพู กับดินเปล่า ตามลำดับ โดยไม่พบกลไกแนวนอนในการทดลองนี้

พืชที่ใช้ในการทดลอง

พืชอาหารสัตว์ประเภทอาหารหยาบที่ทนน้ำท่วมได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งหญ้าอาหารสัตว์ก็ควรจะได้รับความสนใจนำมาร่วมทดลองในระบบดินเปียกสลับแห้งร่วมกับพืชอาหารสัตว์นี้ เพราะในเขตชานเมือง ซึ่งส่วนใหญ่มักตั้งอยู่ในที่ลุ่มมีน้ำท่วมขังอยู่เป็นหย่อมๆ ซึ่งยังไม่มีการถมอยู่ตลอดเวลา บริเวณชานเมืองที่มีลักษณะดังกล่าวน่าจะได้รับการพัฒนาเป็นแหล่งเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กที่ดีได้

1. ลักษณะและการจำแนกทางอนุกรมวิธานของหญ้าอาหารสัตว์

พืชอาหารสัตว์ จัดจำแนกอยู่ใน

Kingdom Plantae -- planta, plantes, plants, Vegetal

Subkingdom Tracheobionta -- vascular plants

Division Magnoliophyta -- angiospermes, angiosperms,
flowering plants, phanérogames,
plantes à fleurs, plantes à fruits

Class Liliopsida -- monocotylédones, monocotyledons

Subclass Commelinidae

Order Cyperales

Family Poaceae -- graminées, grasses

พืชที่จัดอยู่ในตระกูลหญ้ามีประมาณ 10,000 ชนิด (Species) หรือประมาณ 610 สกุล (Genera) ซึ่งพืชตระกูลหญ้าเหล่านี้ ขึ้นอยู่กระจัดกระจายไปทั่วโลก ในเกือบทุกสภาพภูมิอากาศ (สายัณห์, 2540) แต่มีประมาณ 40 ชนิดเท่านั้นที่ใช้ในการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ หญ้าที่ใช้ปลูกมาจากเขตอัฟริกาตะวันออก และเขตกึ่งร้อนของอเมริกาใต้ หญ้าอาหารสัตว์สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม และ Subfamily หลายระบบด้วยกัน เช่น แบ่งตามการปรับตัวต่อภูมิอากาศได้ 2 กลุ่ม คือ

1.1 หญ้าอาหารสัตว์เขตหนาว (Temperate Forage Grasses) หมายถึง หญ้าที่เจริญเติบโตและใช้เพาะปลูกทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ในสภาพอากาศอบอุ่นหรือหนาวเย็น ได้แก่ หญ้าในสกุล Agropyron, Festuca, Dactylis, Lolium, Poa, Bromus, Agrostis, Phleum เป็นต้น

1.2 หญ้าอาหารสัตว์เขตร้อน (Tropical Forage Grasses) หมายถึง หญ้าที่เจริญเติบโต และใช้เพาะปลูกทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ในสภาพอากาศร้อน ได้แก่ หญ้าในสกุล Axonopus, Brachiaria, Cenchrus, Chloris, Cynodon, Digitaria, Eragrostis, Melinis, Panicum, Paspalum, Pennisetum, Setaria, Sorghum, Tripsacum เป็นต้น หญ้าที่นิยมใช้เพาะปลูกทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ในเขตร้อนได้แก่ หญ้าขนหรือมอริชัส (*Brachiaria mutica*) หญ้าซิกแนล (*B.* brizantha และ *B. decumbens*) หญ้ารูซี (*B. ruziziensis*) หญ้าบัฟเฟล (*Cenchrus ciliaris*) หญ้าโรดส์ (*Chloris gayana*) หญ้าแพงโกลา (*Digitaria decumbens*) หญ้าโมลาส (*Melinis minutriflora*) หญ้ากินนี (*Panicum maximum*) หญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) หญ้าซีตาเรีย (*Setaria sphacelata*) หญ้าจอห์นสัน (*Sorghum halepense*) หญ้าซูดาน (S. sudanense) และข้าวฟ่าง (*S. bicolor*) ตลอดจนหญ้าไข่มุก (*Pennisetum americanum*) เป็นต้น

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหญ้าอาหารสัตว์

2.1 ราก (Roots) หญ้ามีรากเป็นระบบรากฝอย (Fibrous Root System) ประกอบด้วยรากขนาดเล็กเท่าๆ กันมากมาย เกิดที่บริเวณข้อของลำต้นที่อยู่ใต้ดินหรือใกล้ผิวดิน มีการสานกันแน่นเป็นแผ่น เมื่อเมล็ดเริ่มงอกจะมีรากอันแรกเจริญจากส่วนรากอ่อน (Radicle) ของต้นอ่อนของเมล็ด เรียกว่า Primary Rroot ส่วนรากแขนง (Seminal Roots) เกิดบริเวณข้อที่ใบเลี้ยงติดอยู่ (Scutellar

Node) ประมาณ 6-7 ราก รากชุดนี้เป็นรากชั่วคราวซึ่งใช้สำหรับการตั้งตัวของพืชในระยะแรก ส่วนรากถาวรชุดแรกเกิดที่ข้อถัดขึ้นไปที่มีกาบหุ้มยอดอ่อน (Coleoptile) ติดอยู่ซึ่งเรียกข้อนี้ว่า Coleoptilar Node รากถาวรชุดอื่นๆ จะเกิดที่ข้อที่อยู่ใกล้ผิวดิน รวมทั้งบริเวณข้อของลำต้นที่เลื้อยไปตามผิวดินและใต้ดินเรียกรากเหล่านี้ว่ารากค้ำจุน (Adventitious Roots)

2.2 ลำต้น (Shoot) ลำต้นหญ้าเจริญมาจากส่วนของยอดอ่อน (Plumule) ในเมล็ด ลำต้นแรกที่งอกขึ้นมานี้เรียกว่า Main Stem ต้นหญ้าสามารถแตกหน่อหรือแขนง (Tillers) ได้มากมายและรวดเร็ว จากข้อล่างๆ ของลำต้นทำให้มีลักษณะเป็นกอ ลำต้นหญ้ามีลักษณะกลมหรือค่อนข้างแบน แบ่งเป็นข้อและปล้อง (Node and Internode) ให้เห็นชัดเจน ส่วนของปล้องมักมีลักษณะเป็นรูกลวงภายในและตันในส่วนของข้อ ปล้องบริเวณโคนต้นจะสั้น ส่วนยอดจะยืดยาวออก โดยเฉพาะเมื่อหญ้าจะออกดอก ที่ข้อทุกข้อมีตาราก ตายอดและตาใบอยู่ ซึ่งทั้งตารากและตายอดนี้พร้อมที่จะเจริญได้ทันทีเมื่อมีสภาพการณ์เหมาะสม จึงทำให้หญ้าขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ได้ดี การเจริญของต้นหญ้ามีหลายลักษณะคือ (1) แบบลำต้นตั้งตรง (Erect Lateral Shoots) ได้แก่ หญ้ากินนี เนเปียร์ บัฟเฟล ซีตาเรีย จอห์นสัน (2) เจริญขนานไปกับพื้นผิวดิน เรียกว่า ไหล (Stolon) ได้แก่ หญ้าขน ซิกแนล และ (3) เจริญอยู่ใต้ผิวดินเรียกว่า เหง้า (Rhizomes) เช่น หญ้าแพรก หญ้าเนเปียร์ และหญ้าอะตราตัม อย่างไรก็ตาม พวกหญ้าที่มีลำต้นเลื้อยไปกับผิวดินและใต้ดิน เมื่อออกดอกส่วนของช่อดอกจะตั้งขึ้น ลำต้นหญ้ามีการแตกกอ (Tillering) 2 ลักษณะ คือ (1) Extravaginal หมายถึง การแตกหน่อที่หน่อใหม่แทงทะลุกาบใบออกมา (2) Intravaginal หมายถึง การแตกหน่อที่หน่อใหม่โผล่ขึ้นมาภายในกาบ หญ้าส่วนใหญ่มีการแตกหน่อแบบ Intravaginal

2.3 ใบ (Leaf) ใบหญ้าเกิดที่ข้อของลำต้น ในขณะที่ยังอ่อนอยู่จะม้วนห่อหุ้มลำต้นและยอดอ่อนไว้อย่างเหนียวแน่น ใบหญ้าประกอบด้วย (1) กาบใบ (Leaf Sheath) เป็นส่วนกาบที่ห่อหุ้มลำต้นและอยู่ติดกับลำต้นที่ส่วนของข้อ (2) ตัวใบ (Leaf Blade หรือ Lamina) เป็นแผ่นใบ มีรูปร่างคล้ายหอกยาวเรียว ปลายแหลม มีเส้นกลางใบอยู่ตรงกลาง และเส้นใบ (Veins) ขนานไปตามความยาวของตัวใบ (3) เยื่อกันน้ำฝนหรือลิ้นใบ (Ligule) เป็นเยื่อที่อยู่ตรงส่วนต่อของกาบใบและตัวใบด้านในมักมีสีขาวหรือสีน้ำตาล มีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช จึงใช้ในการจำแนกชนิดและพันธุ์หญ้าได้ (4) หูใบหรือเขี้ยวใบ (Auricle) เป็นส่วนของเยื่อหรือขนที่ยื่นออกมาทางด้านข้างตรงส่วนต่อของกาบใบและตัวใบ ใบหญ้าเกิดเรียงเป็น 2 แถวสลับกันไปรอบลำต้น เมื่อมีการแตกหน่อหรือแขนงใหม่ ใบแรกของแขนงใหม่จะเปลี่ยนเป็นเยื่อสีขาวไม่มีตัวใบ ทำหน้าที่ห่อหุ้มยอดอ่อนและป้องกันการเสียดสีของแขนงใหม่กับลำต้นเดิม เยื่อดังกล่าวนี้เรียกว่า Prophyll

2.4 ช่อดอก (Inflorescence) ดอกหญ้ามีลักษณะเป็นช่อ ประกอบด้วยกลุ่มดอกที่เรียกว่า Spikelet ติดอยู่บนแกนกลาง (Axis) ที่ตั้งอยู่บนก้านช่อดอก (Peduncle) ก้านของกลุ่มดอกเรียกว่า

Pedicel ซึ่งอยู่ติดบนก้านช่อดอกย่อย (Rachis) แกนกลางที่ก้านช่อดอกย่อยติดอยู่เรียกว่า Rachilla หญ้าบางชนิดกลุ่มดอกไม่มีก้านและติดอยู่บนก้านช่อดอกโดยตรงเรียกกลุ่มดอกดังกล่าวนี้ว่า Sessile Spikelet กลุ่มดอกประกอบด้วยดอกย่อย (Florets) หนึ่งหรือหลายดอก โดยที่ฐานมี Empty Glumes อยู่ 2 อัน ซึ่งเจริญมาจากกลีบประดับ (Floral Bracts) Empty Glumes มีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช บางชนิดอาจเป็นเยื่อบางๆ เล็กๆ เช่น ดอกของข้าวโพด หญ้าจอห์นสัน หรือเป็นเกล็ดหุ้มส่วนฐานเอาไว้ เช่น ดอกของหญ้ากินนี หรือใหญ่ขึ้นจนหุ้มดอกย่อยไว้ เช่น ดอกของหญ้าซิกแนล เป็นต้น ดอกย่อยประกอบด้วยกาบ 2 กาบประกบกัน กาบล่างมักมีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่า Lemma และกาบบนเรียกว่า Palea ภายในมีเกสรตัวผู้ (Stamen) อยู่ 1, 2, 3 หรือ 6 อันขึ้นกับชนิดหญ้า แต่ส่วนใหญ่มักจะมีอยู่ 3 อัน ที่ส่วนปลายของเกสรตัวผู้ทุกอันจะมีกระเปาะอยู่เรียกว่า Anther ซึ่งมีสีแตกต่างกัน เช่น สีเหลือง ม่วงหรือเป็นลายประ ภายในดอกย่อยจะมีเกสรตัวเมีย 1 อัน ประกอบด้วยรังไข่และมี Stigmas ชูขึ้นมา 2 อัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายๆ ขนนก (Feathery Stigmas) ที่ฐานรังไข่มักมีเกล็ดเล็กๆ 2-3 อัน เรียกว่า Lodicules ทำหน้าที่ปิดเปิด Lemma และ Palea ที่ส่วนปลายของ Lemma ของหญ้าบางชนิดจะมีหางยาวออกไปเรียกว่า Awn และมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช

เมื่อดอกเจริญเติบโตเต็มที่และมีสภาพแวดล้อมเหมาะสม กาบ Lemma และ Palea จะเปิดออก อับเรณูจะโผล่ออกมาและแตกออกพร้อมทั้งมีละอองเกสร (Pollen Grains) ร่วงออกมา ระยะการบานของดอกหญ้านี้เรียกว่า Anthesis ซึ่งแสดงว่าดอกเหล่านี้พร้อมที่จะผสมพันธุ์ได้ ช่อดอกของพืชตระกูลหญ้ามีหลายแบบ จำแนกได้ดังนี้

2.4.1 Raceme เป็นช่อดอกที่มีกลุ่มดอกย่อยอยู่บนแกนก้านช่อดอก โดยมีก้านของกลุ่มดอกย่อยยาวเท่าๆ กันเชื่อมติดอยู่ เช่น ช่อดอกย่อยของหญ้ารูซี่ หญ้าขน

2.4.2 Spike เป็นช่อดอกลักษณะคล้ายกับ Raceme แต่กลุ่มดอกย่อยไม่มีก้าน (Sessile Spikelet) เช่น ช่อดอกหญ้าเนเปียร์ หญ้าซีตาเรีย

2.4.3 Panicle เป็นช่อดอกที่ประกอบด้วยช่อดอกย่อยหลายช่อรวมกัน จึงทำให้ช่อดอกมีกิ่งก้านสาขามากมาย และมีลักษณะแตกต่างกันมากมาย เช่น บางชนิดมีช่อดอกย่อยแตกออกไปจากชุดเดียวกันเรียกว่า Digitate Panicle เช่น หญ้าโรดส์ หญ้าแพงโกล่า เป็นต้น หญ้าส่วนใหญ่มีช่อดอกเป็นแบบ Panicle

2.5 ผลและเมล็ด (Fruit and Seed) ผลกับเมล็ดหญ้าเป็นส่วนที่มีเปลือก (Pericarp and Seed Coat) เชื่อมติดกันตลอดเรียกว่า Caryopsis มีลักษณะเป็น One-Seed Fruit เมล็ดหญ้าเจริญมาจากไข่อ่อนทั้งที่ได้รับการผสมและไม่ได้รับการผสมจากละอองเกสร และเจริญขึ้นมาในรังไข่ เมล็ดหญ้ามักอยู่ใน Lemma กับ Palea ลักษณะของเมล็ดหญ้าที่เจริญขึ้นมา โดยไม่มีการผสมเกสรนี้เรียกว่า Apomixis และมีหญ้าหลายชนิดที่มีเมล็ดเกิดขึ้นในลักษณะนี้ ได้แก่ หญ้าโรดส์ ซิกแนล กินนี เนเปียร์ เป็นต้น เมล็ดหญ้ามีใบเลี้ยงเดี่ยวเรียกว่า Scutellum มีต้นอ่อนที่ฐานของเมล็ด และมีอาหารสะสมอยู่ในรูปของ Endosperm

3. ชนิดของหญ้าอาหารสัตว์ที่เลือกมาศึกษา

ปัจจุบันพันธุ์หญ้าอาหารสัตว์ที่สามารถทนสภาพน้ำท่วมขังที่เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในประเทศนั้นมีเพียงไม่กี่ชนิด ได้แก่ หญ้าอุบลพาสพาลัม หญ้าคาลลาร์ หญ้าพลิแคททุลัม หญ้าขน หญ้าสปาตินา ซึ่งหญ้าเหล่านี้สามารถปรับตัวและดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพน้ำท่วมขังได้ โดยทั่วไปมักขึ้นอยู่ในพื้นที่ริมน้ำ

พืชที่นำมาศึกษาครั้งนี้เป็นหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ซึ่งพันทิพา (2547) ได้กล่าวว่า หญ้าเป็นรากฐานของการผลิตสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพ หญ้าที่มีคุณภาพดีจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้มาก หญ้าสด ผักสดเป็นแหล่งของไวตามิน แร่ธาตุ และยังสามารถประหยัดอาหารหลักบางส่วนได้

โครงการศึกษาวิจัยวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยฯ ได้ทำการศึกษาวิจัยด้านพืชโดยได้คัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมสามารถทนสภาพน้ำเสียได้ โดยสายัณห์ และคณะ (2543) กล่าวว่าจากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่า หญ้าที่ปรับตัวได้ดีในบริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าเหล่านี้ได้รับน้ำโดยการปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่านแปลงหญ้าตลอด 5 วัน และปล่อยให้ดินแห้ง 2 วันสลับกันไป หญ้าสตาร์ เป็นหญ้าเขตร้อนที่ทนแล้งได้ดีมาก แต่ทนต่อสภาพน้ำขังได้ชั่วคราว ส่วนหญ้าคาลล่าร์สามารถที่จะทนดินเค็มและน้ำท่วมขังได้ดี ส่วนสมศักดิ์ (2550) รายงานว่า หญ้าอุบลพาสพาลัมเป็นหญ้าที่ทนต่อสภาพน้ำขังได้ดี มีศักยภาพในการบำบัด น้ำเสีย และให้คุณภาพอาหารหยาบที่ดี และพรรัตน์ (2547) ได้ศึกษาการใช้ระบบหญ้ากรองบำบัดน้ำเสีย พบว่า หญ้าสตาร์มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด BOD, DO และ SS ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง เช่นเดียวกับการศึกษาของหิรัญ (2547) พบว่า หญ้าสตาร์มีคุณสมบัติต่อการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยทำให้ผลผลิตและคุณภาพของหญ้าอาหารสัตว์มีสูงกว่าหญ้าชันกาด ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำพืชอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้มาใช้ในทดลอง ดังมีรายละเอียดของลักษณะพันธุ์ดังนี้

3.1 หญ้าสตาร์ (African Star) (*Cynodon plectostachyus*)

หญ้าสตาร์มีแหล่งดั้งเดิมอยู่ในแอฟริกาตะวันออก นำเข้าประเทศไทยโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2540 นำมาจากไต้หวัน ลำต้นเป็นแบบเถาเลื้อย ทอดไปตามดิน ขนาดใหญ่ และแข็งแรง ลำต้นสูง 60-100 เซนติเมตร ใบมีขน ใบยาว 10-25 เซนติเมตร กว้าง 4-7 เซนติเมตร ช่อดอกเป็นแบบ Pinnacle ประกอบด้วยหลายแฉก 4-5 แฉก

ธนัญชัย (2545) กล่าวว่า หญ้าสตาร์เป็นหญ้าที่เจริญเติบโตได้เร็วและมีแนวโน้มที่จะไล่พืชอื่นที่ขึ้นร่วมด้วย หญ้าชนิดนี้สามารถตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดี ทนต่อดินเค็มได้ในระดับปานกลาง ความสูงของการตัดอยู่ระหว่าง 15-20 เซนติเมตร และควรตัดอีกครั้งเมื่อหญ้ามีความสูง 30-60 เซนติเมตร ความสูงของการตัดมีผลกระทบอย่างมากต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของราก เช่น จากการศึกษาของ Minson (1975) กล่าวว่า การตัดหญ้าสตาร์สูงจากพื้นดิน 5 เซนติเมตร และตัดทุกๆ ครั้งที่หญ้ามีความสูง 20 เซนติเมตร ผลผลิตจะลดลงถึงร้อยละ 97 เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่มีการตัดเลย

หญ้าสตาร์สามารถขึ้นได้ดีในเมืองไทย แม้แต่พื้นที่ที่สภาพดินเป็นดินเลวในภาคตะวันออก เฉียงเหนือ หรือแม้แต่บนที่สูง หญ้าสตาร์สามารถขึ้นได้ในบริเวณที่มีฝนตกเฉลี่ย 500-800 มิลลิเมตรต่อปี หญ้าสตาร์ขึ้นได้ในดินหลายชนิดตั้งแต่ดินทรายไปจนถึงดินเหนียว ทนต่อการแทะเล็มและการเหยียบย่ำของสัตว์ได้ดี (สายัณห์, 2547) นอกจากนี้หญ้าสตาร์ยังเป็นหญ้าที่มีความน่ากินต่อสัตว์ประเภทแทะเล็มทุกชนิด (เฉลิมพล, 2530)

3.2 หญ้าคาลล่าร์ (Kalla grass) (*Leptochlao fusca (L.) Kunth*)

หญ้าคาลล่าร์ มีชื่อสามัญว่า Kallar Grass ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Leptochloa fusca* (L.) Kunth สายัณห์ (2547) กล่าวว่า เป็นพืชพื้นเมืองที่พบในประเทศปากีสถานและอินเดีย อาจพบได้ในทวีปเอเชีย ทวีปอาฟริกา และประเทศออสเตรเลีย เป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี พบในพื้นที่บริเวณที่ดินมีความเค็มสูงถึง 12-14 dS/m มีรายงานว่าหญ้าคาลล่าร์อาจเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความเค็มสูงกว่า 15 dS/m เป็นพืชในเขตร้อน และกึ่งแห้งแล้ง ในเขตที่ปริมาณน้ำฝน 550-1,100 มิลลิเมตร เป็นพืชที่มีการพักตัวในช่วงฤดูหนาว และเจริญเติบโตได้ดีมากในช่วงฤดูร้อน มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง

ตลอดเวลา ตั้งแต่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน เริ่มออกดอกตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน

หญ้าคาลล่าร์ เป็นพืชที่มีลักษณะทรงต้นสูงประมาณ 1.0-1.5 เมตร ในช่วงฤดูหนาวอาจมีความสูง 0.4-0.8 เมตร ลำต้นตั้งตรงเป็นทรงพุ่ม ปล้องจะเรียบและเป็นมัน ใบจะเป็นแผ่นยาวแบนเป็นริ้ว ใบหยาบมีความยาวประมาณ 20-50 เซนติเมตร กว้างประมาณ 4-7 มิลลิเมตร ระหว่างใบกับกาบใบมีเยื่อกันน้ำฝนหุ้มอยู่ ช่อดอกมีลักษณะตั้งตรงและเกิดจากบริเวณส่วนของข้อซึ่งมีกาบใบหุ้มอยู่ ช่อดอกเป็นแบบ Racemes ยาวประมาณ 21-26 เซนติเมตร แต่ละช่อดอกจะมีช่อดอกย่อย 20-25 ช่อ วิธีการปลูกหญ้าคาลล่าร์ นิยมใช้ท่อนพันธุ์มากกว่าเมล็ด เนื่องจากเมล็ดมีขนาดเล็กและมีเปอร์เซ็นต์การงอกในดินเค็มต่ำ การปลูกควรปรับพื้นที่แปลงปลูกโดยไถหนึ่งครั้ง ให้น้ำก่อนปลูก ใช้ท่อนพันธุ์ที่มีตา 2-3 ตา ปลูกระยะห่างกันประมาณ 40 เซนติเมตร ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกที่เหมาะสม คือในช่วงฤดูร้อน ในรอบ 1 ปี ถ้าหากทำการตัด 5 ครั้ง จะได้ผลผลิตรวมประมาณ 6,400 กิโลกรัมต่อไร่

หญ้าคาลล่าร์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ เช่น แพะ แกะ เนื่องจากไม่ได้สะสมเกลือไว้ในส่วนต่างๆ เหมือนพืชทนเค็มชนิดอื่นๆ เช่น พืชตระกูล Chenopodiaceae โดยหญ้าคาลล่าร์จะรักษาระดับของ K^+/Na^+ และน้ำตาลไว้ได้สูงในใบ นอกจากนี้ยังทนต่อการตัดและฟื้นตัวได้ดี ยังไม่มีรายงานว่าเป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อสัตว์ ฟางสามารถนำไปใช้เพาะเห็ด นำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (อังสนา, 2537) นอกจากนี้จากการศึกษาของสุชาดา และคณะ (2537) พบว่าสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสม และเจริญเติบโตได้ในสภาพน้ำเสีย และจากรายงานของสมศักดิ์ และสิรภพ (2548) พบว่า หญ้าคาลล่าร์มีประสิทธิภาพสามารถลดค่าบีโอดีได้เช่นกัน

3.3 หญ้าอุบลพาสพาลัม หรือหญ้าอะตราตั้ม (*Paspalum atratum cv.Ubon*)

3.3.1 ข้อมูลทั่วไป

หญ้าอุบลพาสพาลัม มีชื่อสามัญว่า Ubon Paspalum Grass ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Paspalum atratum* Swallen มีถิ่นกำเนิดในประเทศบราซิล เป็นหญ้าพื้นเมืองของรัฐมาโต-กรอสโซ โดซู (Mato Grosso Do Su) โกยาส (Goias) หญ้าอุบลพาสพาลัม เป็นหญ้าที่ปรับปรุงพันธุ์มาจาก

หญ้าพาสพาลัม (*Paspalum atratum*) โดยคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี นำเข้าประเทศไทยโดย ดร.ไมเคิล แฮร์ เมื่อ พ.ศ. 2537 ใช้เวลาในการดำเนินการวิจัยปรับปรุงพันธุ์เป็นเวลา 8 ปี ได้เป็น Paspalum Atratum BRA 009610 แล้วตั้งชื่อใหม่ เป็นพันธุ์อุบลพาสพาลัม (Ubon Paspalum) ได้รับการขึ้นทะเบียนพันธุ์อย่างเป็นทางการจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในชื่อหญ้าอุบลพาสพาลัม หรือหญ้าพาสพาลัมอุบล เมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2545 (ไมเคิล และคณะ, 2546)

สายัณห์ (2547) กล่าวว่า จากการศึกษาของโครงการวิจัยพืชอาหารสัตว์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบว่า อุบลพาสพาลัมเป็นหญ้าอายุหลายปี เป็นแอโพมิกซีสแท้ (Abligate Apomixis) มีโครโมโซมสี่ชุด (2n = 4x = 40) มีใบใหญ่ดกเป็นกอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-30 เซนติเมตรขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืช อายุ และระดับการแทะเล็มหรือการตัด หญ้านี้มีระบบรากฝอยที่หนาแน่น ถ้าปล่อยไว้โดยไม่ตัด ทรงพุ่มใบสามารถเจริญเติบโตได้สูงถึงหนึ่งเมตร และลำต้นที่มีช่อดอกอาจสูงกว่าสองเมตร แต่ละกอประกอบด้วยหน่อประมาณ 20-25 หน่อ และแผ่นใบที่ตั้งขึ้นอาจยาวถึง 50 เซนติเมตร และกว้าง 3-4 เซนติเมตร ในกรณีที่หญ้าถูกแทะเล็มอย่างหนักอาจสูงเพียง 10-12 เซนติเมตร โดยที่ใบเจริญเติบโตเกือบจะราบไปกับพื้น กาบใบล่างๆ มีขนเล็กน้อย และขอบใบมีความคมมาก มีลิ้นใบยาว 1-2 มิลลิเมตร ในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย หญ้าอุบลพาสพาลัม ออกดอกในเดือนกันยายน ในระยะนี้หญ้าจะสูงประมาณ 1.8-2.3 เมตร (จากระดับดินถึงยอดช่อดอก) ช่อดอกเป็นแบบช่อแยกแขนง (ยาว 20-30 เซนติเมตร) ประกอบด้วยช่อกระจะ 9-12 ช่อ (ยาว 8-12 เซนติเมตร) โดยมีช่อดอกย่อยระหว่าง 100-180 ช่อต่อช่อกระจะ ช่อดอกย่อยเกิดเป็นคู่ เปลือกเมล็ดมีสีเขียวมะกอกหุ้มเมล็ดพันธุ์มิดชิด (กาบบนและกาบล่างยังติดอยู่) ภายในมีผลแบบธัญพืชที่มีผิวเป็นเงาและมีสีน้ำตาลแดงเข้ม มีรูปทรงเป็นรูปไข่กลับ โดยมีด้านหนึ่งแบน ส่วนอีกด้านมีริ้วและนูนขึ้นเป็นหนอกอย่างชัดเจน เมล็ดพันธุ์หนึ่งกิโลกรัมมีประมาณ 300,000 เมล็ด

3.3.2 ลักษณะเด่นของหญ้าอุบลพาสพาลัม

1) ปรับตัวเข้ากับดินแฉะ ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และมีน้ำท่วมขังได้ดี

2) ทนทานต่อน้ำท่วมในช่วงสั้นๆ ได้นาน 1-2 เดือน

3) มีใบดกทำให้อัตราส่วนใบต่อลำต้นสูง

4) มีรสชาติดี เมื่ออายุยังน้อย

5) เมล็ดพันธุ์มีความงอกสูง

6) ต้นกล้ามีความแข็งแรง และตั้งตัวได้เร็วมาก

7) ทนทานต่อการแทะเล็มอย่างหนักและการตัดชิดผิวดิน

8) จากการวิจัยพบว่า โคเนื้อที่แทะเล็มหญ้าอุบลพาสพาลัมเพียงอย่างเดียวมีอัตราการเจริญเติบโตเกือบ 0.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

9) เป็นหญ้าอายุหลายปี ถ้ามีการจัดการที่ดีแปลงหญ้าสามารถอยู่ได้เป็นเวลานานหลายปี

3.3.3 ลักษณะด้อยของหญ้าอุบลพาสพาลัม

1) มีลักษณะเป็นกอ ดังนั้นจึงไม่แผ่ออกและไม่คลุมดิน

2) มีระดับโปรตีนหยาบค่อนข้างต่ำจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อยกระดับโปรตีนหยาบ

3) ไม่ทนทานในสภาพพื้นที่ดินทรายจัดและแห้งจัด

4) ผลผลิตในฤดูหนาวค่อนข้างต่ำถึงแม้จะมีการให้น้ำช่วย

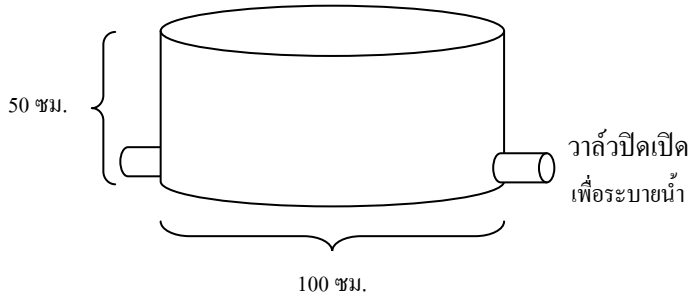
5) หากปล่อยให้ติดช่อดอก ลำต้นและใบจะหยาบขึ้นทำให้คุณค่าทางอาหารต่ำลง และสัตว์ไม่ชอบกิน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับแปลงทดลอง

1.1 บ่อซีเมนต์ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร จำนวน 24 บ่อ ก้นบ่อฉาบปิดด้วยแผ่นซีเมนต์และเจาะรูด้านข้างบ่อส่วนล่างสุดต่อท่อ PVC ขนาด 1 นิ้วแล้วต่อวาล์วปิดเปิดเพื่อระบายน้ำบริเวณขอบล่างของบ่อซีเมนต์ (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 บ่อซีเมนต์

1.2 ดินที่ใช้ปลูกเป็นดินนา ซึ่งเป็นดินเหนียว (Clay) ชุดสมุทรปราการ จากตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี นำมาผสมทรายหยาบเพื่อเพิ่มช่องว่างขนาดใหญ่ในดิน (macropores) อัตราส่วนดิน:ทราย 3:1

1.3 พืชทดลอง ใช้หญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) หญ้าคาลล่าร์ (*Leptochloa fusca* (L.) Kunth) และหญ้าอุบลพาสพาลัม(*Paspalum atratum* Swallen)

1.4 น้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำเสียชุมชนจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่สูบมาเก็บไว้ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (คลองลอย) และใช้น้ำชลประทานเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยน้ำเสียชุมชนมาจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งมีระบบท่อต่อเชื่อมโยงกันแล้วส่งต่อจากสถานีสูบน้ำเสียมายังบ่อรวบรวมน้ำเสียที่บริเวณบ้านคลองยาง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี แล้วจึงส่งผ่านท่อ HDPE $\oslash$ 40 เซนติเมตร ระยะทางประมาณ 18.5 กิโลเมตร มายัง

พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในบริเวณคลองลอยรับน้ำเสียเพื่องานศึกษาวิจัย สำหรับน้ำชลประทานที่นำมาจากคลองชลประทาน จังหวัดเพชรบุรี นำมาเก็บไว้ในถังขนาด 1,000 ลิตร

1.5 อุปกรณ์ดูแลรักษาแปลงทดลอง เช่น กรรไกรตัดหญ้า และสายยาง เป็นต้น

2. อุปกรณ์ภาคสนาม

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ เช่น ขวดพลาสติกโพลิเอทิลีนขนาด 1 ลิตร ถังแช่น้ำแข็ง บีกเกอร์ ฯลฯ

2.2 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พร้อม Combine Electrode

2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3. อุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.1 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ BOD

3.1.1 ขวดบีโอดี ขนาด 250-300 มิลลิลิตร

3.1.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

3.1.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ เช่น กระบอกตวง บิวเรต ขวดรูปกรวย เป็นต้น

3.1.4 เครื่องจ่ายลม

3.1.5 Heat Mantle พร้อม Reflux Set

3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ BOD

3.2.1 น้ำกลั่น

3.2.2 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

3.2.3 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

3.2.4 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

3.2.5 สารละลายเฟอริกคลอไรด์

3.2.6 สารละลายอัลคาไรด์-ไอโอไดด์-เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azide Reagent)

3.2.7 กรดซัลฟุริคเข้มข้น (36N)

3.2.8 น้ำแป้ง

3.2.9 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล

3.2.10 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล

3.2.11 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล

3.2.12 สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 นอร์มัล

3.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์รูปของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำ และพืช

3.3.1 Micro- Kjeldahl Digestion

3.3.2 Visible Spectrophotometer

3.3.3 เครื่องเขย่าในแนวนอน

3.3.4 เครื่องแก้วต่างๆ ที่จำเป็น

3.4 สารเคมีที่ใช้ย่อยและสกัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

3.4.1 Digestion mixture (H_2SO_4-Se-Na_2SO_4 ratio) สำหรับย่อยตัวอย่างน้ำ และพืช

3.4.2 6N NaOH เพื่อปรับ pH สารละลายที่ย่อยแล้วให้เป็น 5-6

3.4.3 Phenol-Nitroprusside Reagent เตรียมโดยใช้ Sodium Nitroprusside 0.34 กรัม และ Sodium Salicylate 8.5 กรัม ละลายในน้ำแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชาแล้วเก็บในตู้เย็น

3.4.4 Buffered Hypochlorite Reagent เตรียมโดยใช้ Sodium Hydroxide (NaOH) 4 กรัม Sodium Hypochlorite (NaOCl) Solution 2 มิลลิลิตร และ Sodium Acetate (NaOAc) 10 กรัม ละลายในน้ำแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และปรับให้มี pH ระหว่าง 11.4-12

3.4.5 Ethylene Diamine Ttetraacetic Acid (EDTA) Reagent ละลาย EDTA Disodium 6 กรัม ในน้ำแล้วปรับให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.4.6 Standard ammonium 100 ppm N เตรียมโดยใช้สาร Ammonium Molydate 0.147 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร

3.4.7 Standard Ammonium 2.5 ppm N เตรียมโดยใช้สารละลาย Standard Ammonium 100 ppm จำนวน 2.5 มิลลิลิตร ละลายในน้ำปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3.4.8 สารละลายกรดซัลฟุริค (Sulfuric Acid) 5 นอร์มัล

3.4.9 สารละลายโพแทสเซียม-แอนติโมนิล-ทาเทรท (Potassium Antimonyl Tartrate Solution)

3.4.10 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท (Ammonium Molybdate Solution)

3.4.11 สารละลายกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic Acid) 0.1 โมลาร์

3.4.12 สารเคมีรวม (Combine Reagent)

3.4.13 สารละลายสต๊อกฟอสเฟต (Stock Phosphate Solution)

3.4.14 สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (Standard Phosphate Solution)

3.5 สารเคมีที่ใช้วัดปริมาณ NH_4-N โดยวิธีการเทียบสี

3.5.1 Phenol-Nitroprusside reagent เตรียมโดยใช้ Sodium Nitroprusside 0.34 กรัม และ Sodium Salicylate 8.5 กรัม ละลายในน้ำแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชาแล้วเก็บในตู้เย็น

3.5.2 Buffered Hypochlorite Reagent เตรียมโดยใช้ Sodium Hydroxide (NaOH) 4 กรัม Sodium Hypochlorite (NaOCl) solution 2 มิลลิลิตร และ Sodium Acetate (NaOAc) 10 กรัม ละลายในน้ำแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และปรับให้มี pH ระหว่าง 11.4-12

3.5.3 Ethylene Diamine Ttraacetic Acid (EDTA) Reagent ละลาย EDTA Disodium 6 กรัม ในน้ำแล้วปรับให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.5.4 Standard Ammonium 100 ppm N เตรียมโดยใช้สาร Ammonium Molydate 0.147 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร

3.5.5 Standard Ammonium 2.5 ppm N เตรียมโดยใช้สารละลาย Standard Ammonium 100 ppm จำนวน 2.5 มิลลิลิตร ละลายในน้ำปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3.6 สารเคมีที่ใช้วัดปริมาณฟอสฟอรัส โดยวิธีการเทียบสี

3.6.1 สารละลายกรดซัลฟุริค (Sulfuric Acid) 5 นอร์มัล

3.6.2 สารละลายโพแทสเซียม-แอนติโมนิล-ทาเทรท (Potassium Antimonyl Tartrate Solution)

3.6.3 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท (Ammonium Molybdate Solution)

3.6.4 สารละลายกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic Acid) 0.1 โมลาร์

3.6.5 สารเคมีรวม (Combine Reagent)

3.6.6 สารละลายสต๊อกฟอสเฟต (Stock Phosphate Solution)

3.6.7 สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (Standard Phosphate Solution)

วิธีการ

1. วิธีการภาคสนาม

1.1 การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ Split Plot Design และจัดหน่วยทดลองแบบสุ่มในบล๊อกสมบูรณ์ Randomized Complete Block Design มี 3 Blocks โดยมี

1.1.1 แหล่งที่มาของน้ำเป็น Main Plot 2 แหล่ง คือ

W_1 = น้ำชลประทาน

W_2 = น้ำเสียชุมชน

1.1.2 หญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด และดินเปล่าเป็น Sub Plot ดังนี้

P_1 = หญ้าสตาร์ (African Star) (*Cynodon plectostachyus*)

P_2 = หญ้าคาลล่าร์(*Leptochloa fusca* (L.) Kunth)

P_3 = หญ้าอุบลพาสพาลัม(*Paspalum atratum* Swallen)

P_4 = ดินเปล่า

ในการศึกษามีการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 24 หน่วยทดลอง มีตำรับการทดลอง 8 ตำรับ ดังภาพที่ 3

1.1.3 การให้น้ำ ขังน้ำปริมาตร 140 ลิตรต่อบ่อ ทำให้น้ำสูงเหนือพื้นดินประมาณ 10 เซนติเมตร ในทุกแปลงทดลอง แบบ Flooding Time 5/2 หมายถึง ระยะเวลาขังน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน

1.1.4 การให้ปุ๋ย มีการให้ปุ๋ยที่ระยะหลังพืชเจริญเติบโต 30 วัน เพื่อเพิ่ม Biomass ของพืช และเพื่อให้หญ้าสตาร์ ซึ่งเป็นหญ้าเถาเลื้อยซึ่งจะมีรากแตกออกตามข้อที่เลื้อยไปบนดินและสามารถดูดธาตุอาหารพืชจากดินเอาไปใช้สร้างการเจริญเติบโตได้ โดยเตรียมสารละลายปุ๋ยยูเรีย 586 กรัมต่อน้ำ 28 ลิตร ซึ่งใส่ conc.H_2SO_4 9 มิลลิลิตร ลงไปด้วยเพื่อขจัดความเป็นด่าง แล้วทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้ความร้อนลดลงมาอยู่ในระดับปกติ แล้วจึงเติมลงไปในบ่อซีเมนต์ทุกบ่อ ซึ่งทุกบ่อจะได้รับเนื้อของไนโตรเจนประมาณ 9.63 กรัมต่อบ่อ

Block I	Block II	Block III
W_1P_4	W_2P_3	W_1P_2
W_1P_2	W_2P_4	W_1P_3
W_1P_1	W_2P_1	W_1P_4
W_1P_3	W_2P_2	W_1P_1
W_2P_4	W_1P_3	W_2P_2
W_2P_2	W_1P_4	W_2P_3
W_2P_1	W_1P_1	W_2P_4
W_2P_3	W_1P_2	W_2P_1

ภาพที่ 3 แผนผังหน่วยทดลอง

1.2 การเตรียมดินปลูกและการเตรียมพืช

1.2.1 การเตรียมดินปลูก

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินชุดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นดินนาที่มีเนื้อแบบดินเหนียวนำมาจากบริเวณตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี นำมาผึ่งให้แห้งย่อยดินให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำมาผสมทรายละเอียดในอัตราส่วน 3:1 ซึ่งจะทำให้เนื้อดินมีลักษณะเป็นเนื้อดินแบบดินร่วน (Loam) เพื่อให้น้ำซึมลงไปในดินได้รวดเร็วขึ้น เนื่องจากจะมีช่องว่างขนาดใหญ่ (Macropores) มากขึ้น ซึ่งจะทำให้น้ำเสียถูกบำบัดด้วยกลไกในแนวตั้งได้รวดเร็ว นำดินดังกล่าวมาบรรจุในบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 0.5 เมตร โดยใช้ดินหนัก 225 กิโลกรัมต่อบ่อ ซึ่งจะทำให้ดินสูงจากพื้นบ่อประมาณ 30 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 24 บ่อ

1.2.2 การเตรียมพืช

จัดหาหน่อพันธุ์หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 50 หน่อ ตัดท่อนพันธุ์ให้มีความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร นำไปเพาะชำลงในถุงดำที่ภายในบรรจุทราย และรดน้ำด้วยน้ำประปา เพื่อรอให้หน่อพันธุ์ใหม่แตก ใช้เวลาประมาณ 30 วัน จากนั้นจึงคัดเลือกหน่อพันธุ์ที่แตกใหม่ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุดปลูกในบ่อซีเมนต์ บ่อละ 5 ต้น มีระยะปลูกพืชห่างกัน 40 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ได้พันธุ์พืชชนิดละ 30 ต้นสำหรับ 2 Main Plot และ 3 ซ้ำ

1.2.3 การอนุบาลพืช

เมื่อนำหน่อพันธุ์ที่แตกใหม่ลงปลูกในบ่อซีเมนต์ บ่อละ 5 ต้นแล้ว อนุบาลพืชเป็นเวลาสองสัปดาห์ก่อนทำการทดลองขังน้ำ ตลอดช่วงของการอนุบาลพืชนี้รดน้ำด้วยน้ำประปาเช้าและเย็น เพื่อให้พืชทดลองสามารถตั้งตัวได้ แล้วจึงเริ่มดำเนินการทดลองขังน้ำตามแผนการทดลองในสัปดาห์ที่สามต่อไป

1.2.4 น้ำที่ใช้ในการทดลอง

น้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน โดยน้ำเสียชุมชนมาจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งมีระบบท่อต่อเชื่อมโยงกันแล้วส่งต่อจากสถานีสูบน้ำเสียมายังบ่อน้ำเสียรวม ณ บริเวณบ้านคลองยาง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี แล้วจึงส่งผ่านท่อมายังพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในคลองลอยรับน้ำเสียบริเวณแปลงทดลอง ส่วนน้ำชลประทานนำมาจากคลองชลประทาน จังหวัดเพชรบุรี สูบมาเก็บไว้ในถังขนาด 1,000 ลิตร

1.2.5 วิธีการทดลอง

ก. การศึกษาสมบัติของดิน สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูก 3 จุด แล้วนำมาผสมคลุกเคล้ากันรวมเป็น1 ตัวอย่าง นำส่งวิเคราะห์หาอนุภาคปฐมภูมิของดิน เนื้อดิน ที่โครงการอนุรักษ์ดิน ปุ๋ย และพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข. การศึกษาการเจริญเติบโตของพืช โดยใช้ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณน้ำในพืชเป็นดัชนี การวัดความสูงของลำต้นจะวัดเริ่มต้นที่ระดับอ้างอิงทุกครั้ง โดยระดับอ้างอิงกำหนดขึ้นจากการขึงเส้นเอ็นผ่านศูนย์กลางบ่ออยู่ในแนวเดียวกับหญ้าอาหารสัตว์ที่ปลูกในแปลง เพื่อความสะดวกและแน่ใจว่าจุดเริ่มต้นในการวัดเป็นจุดเดิมทุกครั้ง รายละเอียดของวิธีการศึกษามีดังนี้

1.2.6 การทดลองบำบัดน้ำเสีย

ก. สูบน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ลงในบ่อซีเมนต์ปริมาตร 140 ลิตรต่อบ่อ ขังน้ำไว้ในแปลงทดลองเป็นเวลา 5 วัน แล้วระบายน้ำออกจนแห้ง ตากแดดจนดินแตกระแหงเป็นเวลา 2 วัน คิดเป็น 1 รอบ ก่อนการขังน้ำในรอบต่อไป

ข. เก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานที่เข้าสู่แปลงทดลองใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร ที่เขียนฉลากระบุ รหัส และวันที่เก็บตัวอย่าง จำนวนอย่างละ 2 ขวด เก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์หาบีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด

ค. เมื่อขังน้ำครบ 5 วัน แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วหลังจากปล่อยให้น้ำไหลล้างท่อทิ้งไปเป็นเวลา 3-5 นาที จากแปลงทดลองแต่ละแปลงใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร ที่เขียนฉลากระบุ รหัส และวันที่เก็บตัวอย่าง จำนวน 2 ขวด เก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์หาบีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ตามวิธีที่กำหนดใน Standard Method for Wastewater โดย APHA, AWWA and WPCF (1995) ในห้องปฏิบัติการต่อไป ส่วนน้ำในแปลงที่เหลือก็ระบายออกทิ้งไป

ง. วัดระดับน้ำเหนือดินโดยวัดระยะจากขอบบ่อถึงระดับน้ำและวัดระยะจากขอบบ่อถึงระดับดิน จำนวน 3 จุดในแต่ละบ่อทดลอง ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทุกรอบที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ เพื่อนำค่าที่ได้ไปเฉลี่ยคำนวณหาการยุบตัวของดินและปริมาตรน้ำที่ระบายออกจากแปลง จากนั้นระบายน้ำออกจากแปลงให้หมดแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง 2 วัน

เพื่อให้น้ำที่อยู่บนดินแห้งสนิทจนผิวดินแตกระแหงและยอมให้อากาศแทรกซึมลงไปในดินได้ รวมระยะ เวลา 7 วัน และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกสองสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง

2. การคาดคะเนประสิทธิภาพของการบำบัด

2.1 คาดคะเนประสิทธิภาพการบำบัดโดยคร่าวๆ (Approximate Efficiency, Ap.eff., %) โดยสมมติว่าน้ำที่ใส่เข้าไปและน้ำที่ระบายออกมามีปริมาตรไม่แตกต่างกัน มาคูณกับความเข้มข้นของมลสารก่อนและหลังการบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร) มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้นในน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นในน้ำออก}}{\text{ความเข้มข้นในน้ำเข้า}} \times 100$$

2.2 คาดคะเนประสิทธิภาพการบำบัดที่แท้จริง โดยคำนวณมวลมลสารก่อนเข้าแปลงจากปริมาตรน้ำที่เข้าแปลง (140 ลิตรต่อแปลง) คูณด้วยความเข้มข้นของมลสารที่เข้าแปลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) และคำนวณมวลมลสารที่ออกจากแปลงจากปริมาตรน้ำที่จะต้องระบายออกทั้งหมดในวันที่ 6 ซึ่งผ่านการบำบัดแล้วครบ 5 วัน คูณด้วยความเข้มข้นของมลสารที่ผ่านการบำบัดจากสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{มวลมลสารที่เข้า} - \text{มวลมลสารที่ออก}}{\text{มวลมลสารที่เข้าแปลง}} \times 100$$

การหามวลมลสารที่ออกจากแปลงที่วัดโดยตรงนั้นทำได้ยากมากและไม่คุ้มกับองค์ความรู้ที่จะได้รับเพราะจะต้องสร้างบ่อเพื่อเก็บปริมาตรน้ำที่ระบายออกในแต่ละบ่อเพื่อให้สามารถวัดปริมาตรน้ำที่จะต้องระบายออกทั้งหมดทั้ง 24 แปลง แล้วจึงเก็บตัวอย่างมาหาความเข้มข้นของมลสาร การวิจัยครั้งนี้จึงใช้วิธีคาดคะเนจากปริมาตรของน้ำที่ยังเหลืออยู่ที่ผิวดินและปริมาตรของน้ำในดินที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ เพราะน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่เท่านั้นที่จะถูกระบายออกจากดินได้ ส่วนความเข้มข้นของมลสารของน้ำส่วนเหนือดินและส่วนที่อยู่ใต้ดินที่ขังครบ 5 วันแล้วก็อนุโลมว่าไม่แตกต่างกัน มีรายละเอียดของวิธีการทดลองดังนี้

1) วัดระดับน้ำที่เหลืออยู่ในส่วนเหนือดินในแปลงย่อยแต่ละแปลงในวันที่ 6 ก่อนการระบายน้ำออกจากแปลง โดยที่ระดับ 1 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำได้ 7.85 ลิตร

2) คำนวณหาร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำในดินทั้งหมด (Water Holding Capacity: WHC) คือ ปริมาณน้ำในดินที่อยู่ทั้งในช่องว่างขนาดใหญ่ (Macropores) และในช่องว่างขนาดเล็ก (Micropores) และร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำเฉพาะที่อยู่ในช่องว่างขนาดเล็กจากปริมาณความชื้นสมมูลย์ (Moisture Equivalent: ME) โดยคำนวณจากสมการของไพบูลย์ (2528) ซึ่งนำเอาข้อมูลดิบที่เกี่ยวข้องของ Motomura *et al.* (1979) มาศึกษาแล้วรายงานไว้ว่า

$$WHC = 32.3 + 0.5198 \text{ clay } (\%) \qquad (r = 0.833^{**}, n = 129) \qquad _____ (1)$$

$$ME = 14.5 + 0.4589 \text{ clay } (\%) \qquad (r = 0.869^{**}, n = 128) \qquad _____ (2)$$

เมื่อนำร้อยละของดินเหนียวมาคำนวณกับสมการข้างต้นจะได้ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำทั้งหมดและร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำในช่องว่างขนาดเล็ก มาหาผลต่างก็จะได้ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่

3) การคาดคะเนความหนาแน่นรวมของดิน เพื่อทำให้ทราบร้อยละโดยปริมาตรของน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่โดยนำเอาความหนาแน่นรวมของดินไปคูณกับร้อยละโดยน้ำหนักของผลต่างที่คำนวณจากร้อยละของปริมาณอนุภาคดินเหนียวเป็นน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่ที่ได้กล่าวแล้ว โดยที่ตอนเริ่มต้นของการทดลองใส่ดิน 225 กิโลกรัม ทำให้ดินสูงจากก้นบ่อขึ้นมาประมาณ 30 เซนติเมตร เมื่อขังน้ำแล้วดินจะยุบตัวลงเพราะก้อนดินจะแตกออกจากกันทำการวัดระดับของดินที่ยุบตัวลงทุกสองสัปดาห์หลังจากระบายน้ำออกจนหมด รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาของชั้นดินผสมที่ยุบตัวคงที่แล้วเหนือชั้นทรายหยาบคือ 28 เซนติเมตร เมื่อเอาความสูงของการยุบตัวของดินมาคูณกับพื้นที่ของบ่อซีเมนต์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร หรือมีค่าเท่ากับ $3.14 \times (50)^2 \times 28$ ก็จะได้ปริมาตรของดินในบ่อที่ยุบตัวจนระดับคงที่แล้วเท่ากับ 219,800 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 219.80 ลิตรต่อแปลง ดังนั้นความหนาแน่นรวมของดินจึงเท่ากับ 1.024 กิโลกรัมต่อลิตร (225/219.80) เพื่อนำไปคำนวณกับ %Clay ที่มีอยู่ในดิน 42 เปอร์เซ็นต์

4) นำข้อมูลจากข้อ 1) ถึง 3) มาคำนวณร่วมกัน จะได้น้ำที่จะต้องระบายออกในวันที่ 6 ดังนี้

สมการที่ (1) - (2); 54.13 – 33.77 เท่ากับ 20.36% โดยน้ำหนัก

$\because$ ร้อยละโดยปริมาตร = ร้อยละโดยน้ำหนัก x ความหนาแน่นรวม

= 20.36 x 1.024

= 20.85

เพราะฉะนั้น ถ้าดิน 100 ลิตร จะมีน้ำที่ระบายออกได้ 20.85 ลิตร

ถ้าดิน 219.8 ลิตร จะมีน้ำที่ระบายออกได้ 45.83 ลิตร

ดังนั้น ปริมาตรน้ำในช่องว่างดินขนาดใหญ่ มีน้ำอยู่เท่ากับ 45.83 ลิตรต่อแปลง

5) นำปริมาตรน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่ที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นรวมกับ ปริมาตรน้ำที่เหลืออยู่ในวันที่ 6 ก็จะได้ปริมาตรน้ำที่ระบายออกในแต่ละครั้ง

3. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งก่อนใส่ลงในหน่วยทดลองและภายหลังที่ระบายน้ำออก ดัชนีที่วิเคราะห์มีดังนี้ คือ บีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด ตามวิธีการของ APHA AWWA and WPCF (1995) วิเคราะห์ตัวอย่างพืชภายหลังทดลอง ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ตามวิธีของทัศนีย์ และจงรักษ์ (2542) สามารถสรุปวิธีการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ และพืชไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 5 วิธีวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ

ดัชนี	วิธีวิเคราะห์
น้ำ	
1. บีโอดี	BOD incubation 20 °C 5 days
2. ความเป็นกรด-ด่าง	pH meter
3. ไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl method
4. แอมโมเนียมไนโตรเจน	Colorimetric
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Colorimetric

4. การนำเสนอข้อมูล

ในการนำเสนอข้อมูลดิบของการทดลอง คือ ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด การเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในพืช และมวลรวมของพืช นำเสนอไว้ในตารางผนวกก่อนจะทำการวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลอง และนำเสนอค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรของอิทธิพลของชนิดน้ำ และชนิดพืช ประสิทธิภาพของการบำบัดอย่างคร่าวๆ (Approximate Efficiency, Ap.eff., %) โดยสมมติว่าน้ำที่ใส่เข้าไปและน้ำที่ระบายออกมีปริมาตรไม่แตกต่างกัน และนำเสนอประสิทธิภาพการบำบัดที่แท้จริงของระบบ

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแล้วจะนำเอาค่า F value ของอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้ รวมทั้งค่า MS Error และ Degree of Freedom ของ Main Plot และ Sub Plot ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหา Standard Error ซึ่งจำเป็นต่อการหาค่า LSR (Least Significant Range) ของ DMRT (Duncan New Multiple Range Test) และบ่งชี้ความปรวนแปรภายในของดัชนีแต่ละค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ Analysis of Variance ตามแผนการทดลองแบบ Split Plot Design ซึ่งมีวิธีการคำนวณแสดงอย่างละเอียดของ Gomez and Gomez (1984) นอกจากนี้ในตารางรวมของแต่ละดัชนีจะนำเสนอตารางย่อยแสดงอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชเอาไว้ด้วยกันโดยจะใช้ตัวอักษร a, b และ c แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบที่มีการเก็บข้อมูล เมื่อใช้เกณฑ์ของ LSR ที่ระดับความเชื่อมั่น 95

% มาเป็นเกณฑ์วัดความแตกต่าง ถ้าพบว่ามีความแตกต่างถึงระดับนัยสำคัญ (*) และนัยสำคัญยิ่ง (**) หากเป็น ab แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ a และ b แต่มีแนวโน้มที่จะน้อยกว่า a และมีแนวโน้มที่จะมากกว่า b ในแต่ละครั้งไว้ในตารางเดียวกัน และนอกจากนี้ยังจะศึกษาความเป็นไปได้ของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าเฉลี่ยของบีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้งก่อนและหลังการบำบัดกับช่วงเวลาที่ทำการทดลอง นำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมาเสนอและหากค่าที่ได้ถึงระดับนัยสำคัญก็จะนำเสนอค่า Intercept (a) และ Slope (b) ตาม Model ทางคณิตศาสตร์ $Y = a + bX$ ไว้ด้วย

5. ระยะเวลาที่ทำการศึกษาวิจัย

ทำการศึกษาวิจัยตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 รวมระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 4 เดือน

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของน้ำก่อนการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้ง

1.1 สมบัติของน้ำก่อนการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีและน้ำชลประทานเทศบาลเมืองเพชรบุรี ที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกสัปดาห์ (ตั้งแต่รอบที่ 1 จนถึงรอบที่ 7) รวมสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำก่อนการทดลอง 7 ครั้ง ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานก่อนการบำบัดแสดงไว้ในตารางที่ 6 และตารางที่ 7 และได้แสดงพิสัย (Range) โดยขีดเส้นใต้ทั้งค่าสูงสุดและต่ำสุดไว้ให้เห็นค่าจุดศูนย์กลาง (Mid Point) ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของค่าต่ำสุดและสูงสุด ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\pm$SD) และสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปร (CV) ของแต่ละดัชนีไว้ด้วย สามารถอธิบายได้ดังนี้

1.1.1 บีโอดี

บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจน เป็นดัชนีที่สามารถใช้ในการแสดงให้เห็นว่าน้ำนั้นมีความเน่าเสียมากน้อยเพียงใด ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าในแหล่งน้ำนั้นมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่มากและจะเป็นอาหารชั้นดีของแบคทีเรีย ซึ่งก็จะต้องมีการหายใจโดยใช้แก๊สออกซิเจนในน้ำนั้นเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการขาดออกซิเจนได้ (กรรณิการ์, 2544)

ค่าบีโอดีของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่ามีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 38.0-64.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 51.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าจุดศูนย์กลาง (Mid Point) 51.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้สันนิษฐานได้ว่าการกระจายของข้อมูลเป็นการกระจายของข้อมูลแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งมีลักษณะแบบระฆังคว่ำ โดยมีการกระจายส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 51.3$\pm$17.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์ความปรวนแปรค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 33.6 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพิสัยของค่าบีโอดีจากการรวบรวมของ Metcalf and Eddy (1991) ที่ว่าความเข้มข้นของบีโอดีของน้ำเสียชุมชนระดับน้อย ปานกลาง และมาก มีค่า 110 220 และ 400

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ก่อนเข้าหน่วยทดลองระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549

ดัชนี	หน่วย	สัปดาห์ที่							Mid Point	Mean	SD	CV (%)
		1	2	3	4	5	6	7				
บีโอดี	mg/l	38.0	40.7	56.0	49.0	58.5	64.3	52.6	51.2	51.3	17.1	33.6
ความเป็นกรดด่าง		7.6	7.5	7.6	7.4	7.2	7.5	7.1	7.4	7.4	0.2	2.6
ไนโตรเจนทั้งหมด	mg/l	37.4	41.1	45.0	43.4	49.2	50.7	49.3	44.0	45.2	4.5	10.1
แอมโมเนียมไนโตรเจน	mg/l	10.8	10.9	12.6	15.1	18.2	18.8	17.8	12.9	14.9	3.2	22.4
แอมโมเนียมสัมพัทธ์	%	28.9	26.5	28.0	34.8	37.0	37.0	36.1	31.8	32.6	4.4	13.7
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	mg/l	4.8	5.5	6.6	4.3	5.2	4.4	5.1	4.6	5.1	0.8	15.2

มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แล้วจะเห็นว่าพิสัยของค่าบีโอดีนี้อยู่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของระดับน้อย (110) มาก แต่สาเหตุที่ทำให้บีโอดีของเราต่ำกว่านั้นยังไม่ทราบ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาค่าบีโอดีในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีเหมือนกันกับที่เคยมีการศึกษามาก่อนแล้วทั้งผลงานของสิทธิชัย (2538) ซึ่งผันแปรอยู่ในพิสัย 33-94 โดยส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 69.7±22.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระหว่างเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม 2537 นั้นพบว่าการศึกษาครั้งนี้นั้นต่ำกว่าอย่างชัดเจนเพราะน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ถูกส่งมาตามท่อจากบ้านคลองยางจนถึงบริเวณพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยฯ เป็นระยะทางถึง 18.5 กิโลเมตร จึงเป็นไปได้ที่จะเกิดการบำบัดขึ้นระหว่างทาง ในขณะที่การวิจัยของสิทธิชัย(2538) นั้น ใช้วิธีการขนน้ำเสียโดยรถบรรทุกน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าบีโอดีในอดีตซึ่งทำขึ้นหลังจากมีท่อส่งน้ำจากบ้านคลองยางมาถึงโครงการฯ เป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตรแล้ว ซึ่งมีหลายท่านดังนี้ คือ อาภรณ์ (2539) ทำการศึกษาระหว่างเดือนธันวาคม 2538-เดือนกุมภาพันธ์ 2539 พบว่า อยู่ในพิสัย 17-75 โดยมีค่าพิสัยส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 44.0±14 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลงานของ สุกัญญา (2548) ซึ่งมีวิธีการส่งน้ำเสียมาตามท่อแบบเดียวกัน และพบว่ามีค่าบีโอดีอยู่ในพิสัย 32.8-42.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และงานวิจัยของอรทัย (2550) พบว่ามีค่าบีโอดีอยู่ในพิสัย 15.0-48.5 นั้นก็จะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้แต่ต่ำกว่างานวิจัยในอดีต แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยบีโอดีที่ศึกษา 7

รอบนี้ก็ยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ (2539) ซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำชลประทานเมืองเพชรบุรี ก่อนเข้าหน่วยทดลองระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549

ดัชนี	หน่วย	สัปดาห์ที่							Mid Point	Mean	SD	CV (%)
		1	2	3	4	5	6	7				
บีโอดี	mg/l	9.2	9.6	7.5	7.6	8.0	8.6	8.4	8.4	8.4	0.8	9.4
ความเป็นกรดด่าง		7.8	7.9	7.8	7.7	7.5	7.6	7.7	7.8	7.7	0.1	1.7
ไนโตรเจนทั้งหมด	mg/l	3.7	2.9	5.0	4.5	2.9	2.7	3.6	4.1	3.6	0.9	24.1
แอมโมเนียมไนโตรเจน	mg/l	1.9	1.3	1.1	1.4	1.3	1.2	1.3	1.6	1.3	0.3	18.6
แอมโมเนียมสัมพัทธ์	%	51.4	44.8	22.0	31.1	44.8	44.4	36.1	41.3	39.2	10.1	25.7
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	mg/l	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0	13.2

ส่วนค่าบีโอดีในน้ำชลประทานก่อนการบำบัด พบว่ามีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 7.5-9.6 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 8.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีลักษณะการกระจายแบบระฆังคว่ำ เช่นเดียวกับของน้ำเสียเพราะค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าจุดศูนย์กลางซึ่งมีค่า 8.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในพิสัย 8.4$\pm$0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความปรวนแปรต่ำ คือมีค่า CV ร้อยละ 9.4 แต่อย่างไรก็ตามค่าบีโอดีของน้ำชลประทานก็ไม่สูงถึงระดับของน้ำเสียชุมชนจึงไม่ควรจะมีปัญหาใดๆ ถ้าไหลลงไปปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ เพราะน้ำชลประทานดังกล่าวมีค่าบีโอดีเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ซึ่งกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2535) กำหนดไว้ว่ามีค่าตั้งแต่ 4 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ค่าบีโอดีไม่ควรจะมีปัญหาต่อการเกษตรใดๆ แต่กลับจะดีต่อการเกษตรกรรมด้วย เพราะเมื่อค่าบีโอดีสูงก็จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงตามไปด้วย น้ำที่มีโปรตีนปนอยู่สูงเมื่อถูกผันเข้าพื้นที่ เกษตรอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกผู้ย่อยสลายในดินเปลี่ยนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเมื่ออยู่ในสภาพน้ำท่วมขังและอยู่ในรูปแอมโมเนียมกับไนเตรทเมื่อน้ำไม่ขังและอากาศถ่ายเทดี

1.1.2 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

ความเป็นกรด-ด่าง เป็นลักษณะทางเคมีของน้ำอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อระบบนิเวศเพราะควบคุมการเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารของผู้ผลิต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และต่อเมตาบอลิซึมของทั้งผู้บริโภคและผู้ย่อยสลาย (กรรณิการ์, 2544) ดังนั้นในงานวิเคราะห์น้ำจึงมักจะวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยทุกครั้ง เนื่องจากสามารถวัดได้ง่าย วิศวกรสิ่งแวดล้อมใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นตัวควบคุมของกระบวนการต่างๆ ทั้งในน้ำดีและน้ำเสีย เช่น ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย การตกตะกอน กระบวนการโคแอกกูเลชัน การกัดกร่อน เป็นต้น (พัฒนา, 2539) ค่าพีเอชสามารถใช้หาค่าคาร์บอนไดออกไซด์และสมดุลกรด-ด่างอื่นๆ ได้ ในทางทฤษฎีถือว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 น้ำบริสุทธิ์มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 น้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง ส่วนน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด ซึ่งเกิดขึ้นจากการแตกตัวของกรดในน้ำ (กรรณิการ์, 2544)

น้ำผิวดินมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5-8.5 น้ำใต้ดินซึ่งมีความกระด้างชั่วคราวสูงมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 เพราะจะมีเกลือไบคาร์บอเนตของแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมสูง น้ำในบ่อหรืออ่างเก็บน้ำอาจมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงได้ถึง 9.0 หรือมากกว่าถ้ามีสาหร่ายสีเขียวเจริญเติบโตและทำการสังเคราะห์แสงภายในแหล่งน้ำนั้น (กรรณิการ์, 2544) ความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำธรรมชาติขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น ลักษณะพื้นดินและหิน ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนการใช้ที่ดินในบริเวณแหล่งน้ำนั้น ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะผันแปรตามระดับพีเอชของดินในบริเวณที่ดินมีสภาพเป็นกรดก็จะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดตามไปด้วย (กรรณิการ์, 2544)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัดมีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 7.1-7.6 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 7.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเท่ากับค่าศูนย์กลาง (Mid Point) 7.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการกระจายของข้อมูลจึงเป็นแบบการกระจายปกติ (Normal Distribution) ซึ่งมีลักษณะแบบระฆังคว่ำและส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในพิสัย 7.4 ± 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 2.6 เท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างกับผลงานที่เคยมีการศึกษามาก่อนแล้วทั้งผลงานของสิทธิชัย (2538); อาภรณ์ (2539); อังษณา (2540); สุกัญญา (2548); อรทัย (2550) ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.8-8.0 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน

ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำชลประทานเมืองเพชรบุรี พบว่ามีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 7.5-7.9 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลางคือ 7.8 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงมีการกระจายแบบระฆังคว่ำเช่นเดียวกันกับน้ำเสียชุมชน ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัยแคบๆ คือ 7.7$\pm$0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความปรวนแปรต่ำมากเพียงร้อยละ 1.7 เท่านั้น

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน พบว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อย แสดงว่าความแรง (Strength) ของความเป็นด่างของอนุมูลบวกสูงกว่าความแรงของความเป็นกรดของอนุมูลลบ กล่าวคือ อนุมูลบวกหลักน่าจะเป็นโซเดียม (Na^+) และ/หรือโพแทสเซียม (K^+) ในขณะที่อนุมูลลบน่าจะเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และ/หรือคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) อนุมูลโซเดียมมักจะมาจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มีมากในน้ำทะเล เนื่องจากจังหวัดเพชรบุรีเป็นจังหวัดที่ติดชายทะเลจึงมีการประกอบอาชีพทางด้านประมงทะเลของประชากร การล้างทำความสะอาดของผลผลิตทางประมง จึงควรจะเป็นแหล่งที่มาของน้ำเสียที่มีเกลือปนเปื้อนอยู่สูงมาก ปกติแล้วเกลือโซเดียมคลอไรด์จะเป็นกลางมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 เพราะความแรงของความเป็นกรดของอนุมูลคลอไรด์สมดุลพอดีกับความแรงของความเป็นด่างของอนุมูลโซเดียม การเสียสมดุลของอนุมูลบวกของด่างและอนุมูลลบของกรดจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไปด้วย การลดหายไปของอนุมูลคลอไรด์และการมีบทบาทของอนุมูลคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเข้ามาแทนที่นี้ อาจเกิดจากอนุมูลคลอไรด์ถูกพืชน้ำดูดเอาไปใช้เพราะเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ของพืช (ผู้ผลิต) การเกิดอนุมูลไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตนี้น่าจะมาจากปฏิกิริยาของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของจุลินทรีย์กับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งเป็นกรดอ่อนและจะแตกตัวเป็นอนุมูลไบคาร์บอเนตและอนุมูลไฮโดรเจนได้น้อยจึงทำให้ทั้งน้ำเสียและน้ำชลประทานก่อนการทดลองมีค่าความเป็นด่างเล็กน้อย

1.1.3 ไนโตรเจนทั้งหมด

ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ แต่อาจมีแอมโมเนียมซึ่งเป็น อนินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งถูกผู้ย่อยสลายพวก Ammonifiers เปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียม ซึ่งในน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัดมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดผันแปรอยู่ในพิสัย 37.4-50.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 45.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลาง (44.0) คล้ายกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และบีโอดีที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในพิสัย 45.2$\pm$4.5 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร มีค่า CV ร้อยละ 10.1 และไม่มีทางที่จะเกิดการ Blooming ของพวกสาหร่ายได้ เพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นมีผู้บริโภคพืชอยู่ตลอดเวลาทำให้สามารถควบคุมปริมาณสาหร่ายไม่ให้มีมากจนเกินไปได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าพิสัยของไนโตรเจนทั้งหมดที่วิจัยได้นี้กับการรวบรวมของ Metcalf and Eddy (1991) ที่ว่าความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนของสหรัฐมีค่า 20 40 หรือ 85 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับความเข้มข้นระดับน้อย ปานกลาง และสูง ตามลำดับแล้ว จะเห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนของงานวิจัยนี้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ใกล้เคียงกับสภาวะปานกลาง (40) ของสหรัฐอเมริกามาก ความยากจนและวัฒนธรรมในการบริโภคอาหารซึ่งเน้นอาหารคาร์โบไฮเดรต เมื่อเปรียบเทียบกับเขาซึ่งบริโภคโปรตีนสูงโดยเฉพาะมีการดื่มนมกันมากกว่าในประเทศเรามากน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นี้ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนนี้กลับจะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่นำมาใช้บำบัดน้ำเสียร่วมกับดินในสภาพเปียกสลับแห้ง เพราะจะถูกผู้ย่อยสลายในดินซึ่งเป็น Anaerobes เอาไปใช้สร้างโปรตีนเพื่อการแบ่งเซลล์และขับถ่ายของเสียออกมาเป็นแอมโมเนียมซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งจะได้นำเสนอต่อไป

ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำชลประทาน มีความผันแปรอยู่ในพิสัย 2.7-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 3.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลางคือ 4.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในพิสัย 3.6 ± 0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า CV ร้อยละ 24.1 ซึ่งมีปริมาณน้อยมากและไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก (ขนาดชุมชนมากกว่า 2,501 คนขึ้นไป) ที่กำหนดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไว้ไม่เกิน 35.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การมีอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำชลประทานต่ำนี้เป็นสิ่งปกติ เพราะไม่มีโอกาสปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ซึ่งมักจะต้องมีโปรตีนปนอยู่ด้วยเสมอเหมือนกับน้ำเสียชุมชน การมีอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำชลประทานนี้ น่าจะเป็นวัฏจักรปกติของไนโตรเจนในระบบนิเวศเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตที่มีการผลิตพืชดอน (Upland Crops) ที่มีอายุสั้นซึ่งต้องมีการเตรียมดิน (Cultivated Crops) ซึ่งจะต้องมีการสูญเสียหน้าดินในฤดูฝนของทุกปี เพราะการเตรียมดินซึ่งเป็นต้นเหตุของการแตกเป็นก้อนๆ ของแผ่นดิน (Detachment) ซึ่งจะถูกเม็ดฝนตกลงมากระแทกให้แตกออกเป็นก้อนเล็กๆ ซึ่งบางส่วนจะถูกน้ำพาลงไปในดินแล้วก่อให้เกิดการอุดตันของช่องว่างขนาดใหญ่ในดิน และก้อนดินอีกส่วนหนึ่งก็จะถูกเม็ดฝนกระแทกต่อไปจนแยกตัวออกจากกันเป็นอนุภาคปฐมภูมิ (Primary Particles) หมดแล้วแยกตัวออกจากกันโดยอนุภาคทรายและทรายแป้งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าจึงหนักกว่าและจมลงไปในดินกลบทับผิวหน้าดินซึ่งช่องว่างขนาดใหญ่ถูกอุดตันหมดแล้วอีกทอดหนึ่ง น้ำฝนซึ่งซึมลงไปในดินไม่ได้ก็จะพาอนุภาคดินเหนียวซึ่งแขวนลอยอยู่ (เพราะมีขนาดเท่ากับคอลลอยด์) ไหลบ่าไปบนหน้าดิน (Run Off) ลงสู่พื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่าเสมอ จึงเห็นน้ำขุ่นไหลออกมาจากพื้นที่เกษตรเสมอ

แม้ว่าพื้นที่เกษตรในที่ดอนนั้นมีสภาพภูมิประเทศแบบเป็นที่ราบ ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายแบบแผ่นกระดาษ (Sheet Erosion) แต่ถ้าพื้นที่เกษตรกรรมนั้นเป็นที่ลาดเท ก็จะเกิดการชะล้างพังทลายของดินแบบเป็นร่อง (Chanel Erosion) ถ้ารุนแรงน้อยก็จะเกิดเป็นร่องเล็กๆ (Rill Erosion) แต่ถ้ารุนแรงมากก็จะเกิดเป็นร่องกว้างและลึกกว่า 1 ฟุต (Gully Erosion) เพราะน้ำไหลบ่าหน้าดินจะมีความเร็วมากขึ้นจนมีพลังงานกัดเซาะเพิ่มขึ้นแทนที่จะเป็นตัวพาเพียงอย่างเดียว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) การสูญเสียหน้าดินเมื่อนำเอาที่ดอนมาใช้ปลูกพืชล้มลุกเป็นต้นเหตุที่ทำให้ดินเสื่อมที่สำคัญที่สุด เพราะจะสูญเสียทั้งธาตุอาหารพืชและความโปร่งของดิน (ไพบูลย์, 2543) เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมีประจุลบซึ่งจะ ต้องดูดซับไอออนบวกซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชเสมอ นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวยังจะดูดซับฮิวมัสซึ่งเป็นสารคอลลอยด์อินทรีย์ซึ่งมีคุณค่าทางเคมีของดินที่สูงยิ่ง เพราะมีค่าความจุไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้สูง และมีประจุบวกได้ด้วยขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน กล่าวคือ ปกติจะมีประจุลบแต่เมื่อความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้นก็จะเกิดการเติมโปรตอน (Protonation) เข้าไปที่บริเวณที่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจน อยู่ทำให้จุดนั้นๆ มีประจุบวกเกือบถาวรถ้ายังไม่มีกลุ่มไฮดรอกซิล (OH^-) จากด่างมาสะเทินไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือโปรตอนให้กลายเป็นน้ำไปเสียก่อน ดินในเขตร้อนชื้นที่มิได้เกิดจากภูเขาหินปูนมักจะเป็นกรดเสมอ ฮิวมัสจึงมีประจุบวกและดูดซับไอออนลบไม่ว่าจะเป็นซัลเฟต ($SO_4^{=}$) ไนเตรท (NO_3^-) และโมโนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) เสมอ (ไพบูลย์, 2528) พื้นที่ลุ่มน้ำของเขื่อนเพชรบุรีซึ่งเป็นแหล่งน้ำชลประทานของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำรินี้ถูกบุกรุกเข้าทำการเกษตรเป็นพื้นที่กว้างขวาง ดังนั้นตะกอนที่ถูกพัดพามาในอ่างเก็บน้ำนี้จึงมีธาตุอาหารพืชปนมาด้วยและถูกพืชน้ำและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเอามาใช้ประโยชน์และเมื่อทั้งคู่ตายลงก็จะถูกผู้ย่อยสลายเปลี่ยนให้เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนปนมากับน้ำชลประทานด้วย

1.1.4 แอมโมเนียมไนโตรเจนและแอมโมนิฟิเคชั่น

ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัดผันแปรอยู่ในพิสัย 10.8-18.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในพิสัยปกติ (12-50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่ง Metcalf and Eddy (1991) รายงานไว้ว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ระดับความเข้มข้นน้อย ปานกลาง และสูงนั้นมีค่า 12 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย 14.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในระดับความเข้มข้นค่อนข้างต่ำของปริมาณที่ Metcalf and Eddy (1991) ได้รายงานไว้ ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ต่ำดังได้กล่าวแล้ว และเนื่องจากค่าเฉลี่ยของงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลาง (12.9) จึงขอนำเสนอการกระจายเชิงปกติซึ่งจะมีพิสัยของข้อมูลส่วนใหญ่

ระหว่าง 14.9±3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าสัมประสิทธิ์ความปรวนแปรค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 22.4 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดแล้วพบว่า ขบวนการแอมโมนิฟิเคชั่นของน้ำเสียนี้ซึ่งอยู่ในพิสัยร้อยละ 26.5-37.1 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 60 62.5 และ 58.8 ที่ระดับความเข้มข้นน้อย ปานกลาง และมาก ของ Metcalf and Eddy (1991) ที่คำนวณได้ตามลำดับ การเกิดแอมโมนิฟิเคชั่นที่ค่อนข้างน้อยนี้อาจเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและปริมาณน้ำตาลที่สูงกว่าของน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี ซึ่งมีอุตสาหกรรมทำขนมอยู่มาก อุณหภูมิที่เหมาะสมกว่าของประเทศไทยเราและการมีน้ำตาลที่สูงกว่าน่าจะเร่งให้เกิดขบวนการไกลโคไลซีส (Glycolysis) เกิดเป็นกรดไพรูวิกโดยขบวนการหายใจแบบมีออกซิเจน (Clifton, 1957; White *et al.*, 1959; Strafford, 1959) เกือบจะทันทีที่เกิดน้ำเสีย และเมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไปแล้วขบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของผู้ย่อยสลายโดยใช้กรดไพรูวิกเป็นตัวรับอิเล็คตรอน (Ponnamperuma, 1965) ทำให้สารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมได้ ซึ่งมีพิสัยร้อยละ 26.5-37.0 ได้ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 32.6 ซึ่งใกล้เคียงค่าศูนย์กลาง (31.8 %) เล็กน้อยซึ่งก็ควรจะอนุโลมได้ว่าเป็นการกระจายของข้อมูลปกติได้ โดยมีพิสัยของประชากรส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 32.6±4.4 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรต่ำเพียงร้อยละ 13.7

ส่วนแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำชลประทาน มีความผันแปรอยู่ในพิสัย 1.1-1.9 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำดังได้กล่าวแล้ว มีค่าเฉลี่ย 1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าศูนย์กลาง (1.6) พิสัยของปริมาณส่วนใหญ่จะอยู่ในระหว่าง 1.3±0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรร้อยละ 18.6 ปริมาณแอมโมเนียมสัมพัทธ์เมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในพิสัยระหว่างร้อยละ 22.0-51.4 ซึ่งสูงกว่าของน้ำเสียชุมชนมาก และใกล้เคียงระดับปานกลางที่คำนวณได้จากตัวเลขของ Metcalf and Eddy (1991) ทั้งนี้คงจะเนื่องจากโอกาสมีน้ำตาลในน้ำชลประทานนั้นน้อยมาก ค่าเฉลี่ยของการเกิด แอมโมนิฟิเคชั่นในน้ำชลประทานนี้คือร้อยละ 39.2 ซึ่งพออนุโลมว่ามีการกระจายแบบปกติ เพราะสูงกว่าค่าศูนย์กลาง (41.3%) เพียงเล็กน้อย โดยมีข้อมูลส่วนใหญ่กระจายอยู่ในพิสัยร้อยละ 39.2±10.1 แต่มีสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปร (25.7 %) สูงกว่าในน้ำเสียชุมชนมาก

ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียชุมชนมีค่าสูงกว่าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสูงสุด คือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 (กรมควบคุมมลพิษ, 2539) ส่วนในน้ำชลประทานพบปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสูงสุด ที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 การพบแก๊ส

แอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไปได้ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพราะกุ้งกุลาดำมีราคาดี เกษตรกรมักอยากได้ผลกำไรมากๆ โดยปล่อยลูกกุ้งและให้อาหารมากเกินไป ของเสียที่กุ้งปล่อยออกมารวมทั้งอาหารกุ้งส่วนเกินจะถูก Aerobes ในน้ำย่อยสลายโดยเอาโปรตีนไปเป็นอาหารเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ และใช้แก๊สออกซิเจนในน้ำที่ได้จากเครื่องตีน้ำเพื่อการหายใจอย่างรวดเร็วจนเกินกำลังการเติมแก๊สออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศที่ใช้อยู่ ขณะเดียวกันก็จะขับถ่ายสารอนินทรีย์ไนโตรเจนออกมาซึ่งเป็นไปได้ที่จะอยู่ในรูปของแก๊สแอมโมเนีย แต่แก๊สนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหากสิ่งขับถ่ายออกมาเป็นยูเรียซึ่งปนมากับของเสียที่เป็นน้ำ ยูเรียจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นแอมโมเนียได้ แต่ในชุมชนเมืองเพชรบุรีนี้ไม่พบว่ามีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดังนั้นอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนของเมืองนี้จึงน่าจะเกิดขึ้นช้าๆ และกลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มากกว่า เพราะแก๊สแอมโมเนียน่าจะละลายน้ำกลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ได้ง่ายมาก เนื่องจากปริมาณน้อยจึงไม่ได้ทำให้ความเป็นกรด-ด่างสูงนัก แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์น่าจะถูกแพลงตอนก์พืชดูดเอาไปใช้ได้จึงไม่ควรจะเป็นพิษใดๆ ในระบบนิเวศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย

1.1.5 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนก่อนบำบัดส่วนใหญ่น่าจะอยู่ในรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัส เพราะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญชนิดหนึ่งของอาหารมนุษย์ซึ่งจะเป็นมลสารหลักของน้ำเสียชุมชน พบว่ามีความผันแปรอยู่ในพิสัย 4.3-6.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพิสัย 4-15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ Metcalf and Eddy (1991) รวบรวมไว้ว่าที่ระดับความเข้มข้นน้อย ปานกลาง และมากนั้นมีความเข้มข้น 4 8 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การมีฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์น้อยนี้ คล้ายกับของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้กล่าวแล้ว เพราะเศรษฐกิจและวัฒนธรรมในการบริโภคอาหารของคนไทยเรากับคนอเมริกันนั้นแตกต่างกันมาก กล่าวคือ คนอเมริกันรวยกว่าและกินโปรตีนมากกว่าคนไทยเรา ในอาหารโปรตีนนั้นย่อมจะต้องมีฟอสโฟโปรตีนปนอยู่ด้วยเสมอ เพราะฟอสโฟโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของนิวเคลียสของเซลล์ทุกเซลล์ ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดในงานวิจัยนี้มีค่า 5.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอนุโลมว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติได้ เพราะมีค่าใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลาง (4.6) มาก ดังนั้นจึงสามารถพูดได้อย่างมั่นใจได้ว่าส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในพิสัย 5.1 ± 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรเพียงร้อยละ 15.2 เท่านั้น งานวิจัยนี้มิได้ศึกษาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสด้วย เพราะเชื่อมั่นว่าปริมาณจะต้องต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะเกลือฟอสเฟตของ

ทั้งไตรฟอสเฟต (PO_4^{-3}) และไดฟอสเฟต (HPO_4^{-2}) ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก ยกเว้นเป็นเกลือของโซเดียมและโปแตสเซียม ในน้ำทะเลแม้ว่าจะมีโซเดียมมากแต่ปรากฏว่าปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัสในน้ำทะเลนั้นมีเพียง 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น (Krauskopf, 1967) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุมูลฟอสเฟตในน้ำทะเลอาจถูกทั้งผู้ผลิต (สาหร่ายและแพลงตอนก์พืช) และผู้ย่อยสลายดูดซึมเอาไปใช้ประโยชน์ สำหรับดินนาที่มิได้ปลูกข้าว Ponnamperuma (1965) รายงานว่าความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะผันแปรอยู่ในพิสัย 0.02-0.6 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำชลประทาน พบว่ามีค่าต่ำมากโดยมีความผันแปรอยู่ในพิสัย 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะน่าจะถูกสิ่งที่มีชีวิตทั้งผู้บริโภคกับผู้ย่อยสลาย (อินทรีย์ฟอสเฟต) และผู้ผลิต (อนินทรีย์ฟอสฟอรัส) ในอ่างเก็บน้ำและในน้ำชลประทานเอาไปใช้ประโยชน์ มีค่าเฉลี่ย 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเท่ากับค่าศูนย์กลางของข้อมูลพอดี ดังนั้นจึงมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ และส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในพิสัย 0.3 ± 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า CV ร้อยละ 13.2 และเหตุที่ไม่มีการศึกษาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสก็อธิบายได้เช่นเดียวกับในน้ำเสียชุมชน

1.2 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับคุณภาพน้ำก่อนการบำบัด

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับคุณภาพน้ำก่อนการบำบัด โดยเริ่มดำเนินการทดลองตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2549 รวมระยะเวลาการทดลอง 13 สัปดาห์ โดยนำข้อมูลในตารางที่ 6 และ 7 มาใช้ และกำหนดให้ดัชนีที่ศึกษาเป็นตัวแปรตาม (Y) และมีระยะเวลาซึ่งบ่งบอกถึงฤดูกาลเป็นตัวแปรอิสระ (X) มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แล้วนำเสนอค่า Intercept ของแกนตั้ง (a) และ Slope (b) ของสมการเชิงเส้นตรง $Y = a + bX$ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีค่าสูงถึงระดับนัยสำคัญไว้ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 8 และตารางที่ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับดัชนีคุณภาพน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัด พบว่าดัชนีคุณภาพน้ำไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน ที่ศึกษาทั้งหมดยกเว้นฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความสัมพันธ์กันสูงถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ โดยส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ทางบวกยกเว้นความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางลบโดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.757** -0.751** 0.757** และ 0.761** สำหรับค่าบีโอดี ความเป็น

กรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด และแอมโมเนียมไนโตรเจน ตามลำดับ ส่วนฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ -0.268^{NS} เท่านั้น

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับดัชนีคุณภาพน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีก่อนการบำบัด

ตัวแปรตาม (Y)			สมการ	r
บีโอดี	BOD	=	29.614 + 5.779 Cycle	0.705^{**}
ความเป็นกรด-ด่าง	pH	=	7.686 – 0.068 Cycle	-0.751^{**}
ไนโตรเจนทั้งหมด	TN	=	38.200 + 1.575 Cycle	0.757^{**}
แอมโมเนียมไนโตรเจน	NH_4-N	=	9.829 + 1.139 Cycle	0.761^{**}
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	TP	=	-	-0.268^{NS}

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับดัชนีคุณภาพน้ำชลประทานเมืองเพชรบุรีก่อนการบำบัด

ตัวแปรตาม (Y)			สมการ	r
บีโอดี	BOD	=	-	-0.382^{NS}
ความเป็นกรด-ด่าง	pH	=	7.886 – 0.043 Cycle	-0.688^{**}
ไนโตรเจนทั้งหมด	TN	=	-	-0.248^{NS}
แอมโมเนียมไนโตรเจน	NH_4-N	=	-	-0.540^{NS}
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	TP	=	-	0.408^{NS}

ส่วนตารางที่ 9 แสดงผลการวิคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับดัชนีคุณภาพน้ำชลประทานก่อนการบำบัด พบว่า ไม่มีดัชนีตัวใดที่มีนัยสำคัญทางสถิติเลย

สำหรับปริมาณไนโตเจนทั้งหมด และแอมโมเนียมไนโตรเจน ซึ่งมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจน กล่าวคือ เพิ่มขึ้นบ้างลดลงบ้างในน้ำชลประทานนี้น่าจะเป็นเพราะน้ำชลประทานได้มาจากเขื่อนเพชรบุรีที่อยู่ไกลออกไปทางทิศตะวันตกของจังหวัดน่าได้รับอิทธิพล

ของฝนและแรงลมน้อยกว่าบริเวณอำเภอเมืองซึ่งเป็นที่มาของน้ำเสียโดยตรง ความสัมพันธ์จึงไม่ชัดเจนของน้ำเสียที่ได้กล่าวมา

2. สมบัติของน้ำภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

2.1 สมบัติของน้ำภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ในการทดลองนี้ใช้ค่าบีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด เป็นดัชนีในการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดและดินเปล่า รอบละ 7 วัน รวมทั้งสิ้น 7 รอบ ในแต่ละรอบนั้นจะทำการขังน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานเป็นเวลา 5 วัน แล้วปล่อยให้ดินแห้งแตกระแหงเป็นเวลาอีก 2 วัน การเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว 5 วันมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกสัปดาห์เป็นเวลา 7 สัปดาห์ ตามอายุการเก็บเกี่ยวของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ และหญ้าอุบลพาสพาลัม เป็นเวลา 60 วัน รวม 7 รอบ ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการและภาคสนามที่ได้จะถูกนำมาประเมินการกระจายว่าเป็นแบบปกติหรือไม่โดยใช้ค่าพิสัย (Range) ค่าศูนย์กลาง (Mid Point) ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน($\pm$SD) สัมประสิทธิ์ความปรวนแปร (CV) เช่นเดียวกับของน้ำก่อนบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดโดยสังเขป (Approximate Efficiency, Ap.eff.) ที่อนุมานว่าปริมาณน้ำที่ใส่ในแปลงเท่ากับน้ำที่ระบายออกจากแปลง กับทั้งจะได้นำข้อมูลดิบภายในแต่ละรอบของการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ Split Plot Design นำเสนอค่า F-value และผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญ ตลอดจนอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดของพืชต่อค่าเฉลี่ยบีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ตามลำดับ โดยใช้อักษร a b และ c แสดงความแตกต่าง เมื่อพบว่ามีอิทธิพลสูงถึงระดับนัยสำคัญขึ้นไปด้วยค่า LSR ดังได้กล่าวแล้วในวิธีการ และหากพบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง (แหล่งน้ำ x ชนิดพืช) ในรอบใดรอบหนึ่งหรือมากกว่านั้นสูงถึงระดับนัยสำคัญ และ/หรือนัยสำคัญยิ่ง ก็จะแสดงความแตกต่างด้วยอักษร a b และ c ไว้ในตารางสรุปด้วย

2.1.1 บีโอดีของน้ำภายหลังการบำบัด

ตารางที่ 10 แสดงอิทธิพลของตัวรับอิเล็คตรอนที่มีอยู่ในดินและรากของหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด ที่มีต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำที่ระบายออกในวันที่ 6 แล้วปล่อยให้แห้งแตกระแหงรวม 2 วันของการให้น้ำในแต่ละรอบ ซึ่งมีการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนการทดลองทุกสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 7 รอบ มีข้อมูลดิบอยู่ในตารางผนวกที่ 1 ผลการศึกษาการกระจายของข้อมูล

ตารางที่ 10 ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid Point	Mean	SD	CV (%)	Ap.eff (%)
	1	2	3	4	5	6	7					
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)												
ก. ก่อนบำบัด	38.0	47.7	56.0	49.0	58.5	64.3	52.6	51.2	51.3	17.1	33.6	
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	5.9	5.2	5.2	6.7	4.2	5.9	5.5	6.9	5.5	0.8	13.9	90
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	7.9	6.1	6.1	5.9	2.8	5.0	5.6	6.9	5.6	1.5	27.1	89
หญ้าอุบล พาสพาลัม (P_3)	6.1	5.6	4.0	5.3	5.1	6.7	5.3	5.7	5.3	0.7	12.4	90
ดินเปล่า (S)	7.0	5.8	4.6	6.2	6.1	6.6	6.6	6.6	6.2	0.8	13.0	88
ในน้ำชลประทาน (W_2)												
ก. ก่อนบำบัด	9.2	9.6	7.5	7.6	8.0	8.6	8.4	8.4	8.4	0.8	9.4	
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	2.5	1.2	2.0	1.4	1.0	2.1	1.7	2.0	1.7	0.5	30.9	80
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	2.7	1.5	2.3	1.0	0.8	1.7	1.6	1.9	1.7	0.7	41.2	80
หญ้าอุบล พาสพาลัม (P_3)	3.9	1.5	1.5	2.0	1.0	1.1	1.8	3.0	1.8	1.0	53.0	79
ดินเปล่า (S)	1.8	1.0	1.3	2.1	0.8	1.1	1.3	1.9	1.3	0.5	35.6	84

ตลอด 7 รอบ (สัปดาห์) พบว่าค่าบีโอดีของน้ำที่ระบายออกจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า ผันแปรอยู่ในพิสัย 4.2-6.7 2.8-7.9 4.0-6.7 และ 4.6-7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งล้วนมีค่าต่ำมากและดีกว่า

เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2539) ทั้งนี้และส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 5.5±0.8 5.6±1.5 5.3±0.7 และ 6.2±0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า CV ร้อยละ 13.9 27.1 12.4 และ 13.0 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีโดยสังเขปสูงมากคือมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 90 89 90 และ 88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การลดลงของค่าบีโอดีภายหลังการบำบัดเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตจะถูก โ Facultative Anaerobes เอาไปใช้เป็นตัวให้อิเล็คตรอนแล้วกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากระบบน้ำเสีย โดยจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้แก๊สออกซิเจนจะใช้ Active Fe(III) และ Active Mn (IV) เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในขบวนการ Anaerobic Respiration งานวิจัยนี้ยืนยันได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้สูงมากและเหมาะสมต่อประเทศไทยมาก เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูงมากหรือสูงที่สุด และหากมีผังเมืองที่ดีก็สามารถติดตั้งระบบนี้ในสวนสาธารณะของทุกชุมชนได้

ส่วนค่าบีโอดีในน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่าคุณภาพน้ำทางด้านสารอินทรีย์ยิ่งมีคุณภาพดีขึ้นอีกโดยทำให้ค่าบีโอดีส่วนใหญ่มีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 1.0-2.5 0.8-2.7 1.0-3.9 และ 0.8-2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และส่วนใหญ่กระจายอยู่ในพิสัย 1.7±0.5 1.7±0.7 1.8±1.0 และ 1.3±0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า CV ร้อยละ 30.9 41.2 53.0 และ 35.6 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีโดยสังเขปเฉลี่ยเท่ากับ 80 80 79 และ 84 เปอเซ็นต์ ตามลำดับ

การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัดโดยสังเขปแม้มิได้มีการวิเคราะห์ทางสถิติในดินเปล่า คือสูงถึง 84 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อมีพืชอยู่ด้วยซึ่งแตกต่างกันอยู่ในพิสัย 79-80 เปอร์เซ็นต์ เฉพาะในน้ำชลประทานหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียเท่านั้นนี้น่าจะได้รับการบันทึกไว้ว่า พืชที่ปลูก (หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด) น่าจะดูดเอาแอมโมเนียมในน้ำชลประทานซึ่งแม้จะมีปริมาณสัมพัทธ์ (เมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมด) ในพิสัย 39.2±10.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีปริมาณจริงอยู่ในพิสัย 1.3±0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 7) ดังได้กล่าวแล้วไปใช้สร้างความเจริญเติบโตของพืชมากเสียจนกระทั่งเหลือปริมาณไนโตรเจนให้จุลินทรีย์ดินที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนเอาไปใช้ในการสร้างเซลล์ได้น้อยกว่าเมื่อไม่มีพืช เมื่อจำนวนจุลินทรีย์ในแปลงที่มีพืชมีน้อยกว่าการหายใจโดยรวมจึงย่อมจะต้องน้อยกว่าตามไปด้วย การสูญหายไปของคาร์โบไฮเดรตไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงน้อยกว่าอย่างชัดเจน ส่วนในระบบบำบัดที่ใช้น้ำ

เสียชุมชนนั้นเกิดการแปรรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมก่อนนำเข้าสู่ระบบบำบัดซึ่งอยู่พิสัยสูงมากถึง 32.6±4.4 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแอมโมเนียมที่วัดได้สูงถึงพิสัย 14.9±3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 6) ดังได้กล่าวแล้ว ปริมาณแอมโมเนียมจริงในแปลงที่มีพืชน่าจะมากเกินความต้องการของพืช ปริมาณแอมโมเนียมทั้งในแปลงที่มีพืชและในดินเปล่า รวมทั้งปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนจึงมีปริมาณที่มากพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ดินที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนนำเอาไปใช้ในการสร้างเซลล์ในขบวนการแบ่งเซลล์และทำกิจกรรมการหายใจซึ่งจะต้องใช้คาร์โบไฮเดรต ซึ่งควรจะเป็นองค์ประกอบหลักของมลสารสารอินทรีย์ซึ่งประเมินได้โดยค่าบีโอดี (เพราะใช้เวลาเพียง 5 วัน และที่อุณหภูมิ 20 °C)

เมื่อนำข้อมูลดิบในตารางผนวกที่ 1 มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญแล้วเสนอไว้ในตารางที่ 11 โดยตารางที่ 11ก วิเคราะห์ความปรวนแปร แล้วนำเสนอค่า F-value ของแหล่งของความแปรปรวนและ CV ตลอดจน MS Error ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการคำนวณค่า MS ของปัจจัยต่างๆ และค่า Standard Error ซึ่งจำเป็นต่อการประเมินความแตกต่างโดยใช้วิธี DMRT (Duncun's New Mutiple Range Test) ในกรณีมีค่า F สูงถึงระดับนัยสำคัญเข้าไว้ด้วย ส่วนตารางที่ 11ข นำเสนอค่าเฉลี่ยบีโอดีที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 11ค นำเสนอค่าเฉลี่ยบีโอดีที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ขณะที่อิทธิพลร่วมนั้นนำเสนอในตารางที่ 11ง สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 11 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้ง

ก. ค่า F value MS Error และ CV (%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	183.37**	338.56**	553.08**	83.18*	164.77**	1,4196.00**	1,629.25**
MS Error a	2	0.5279	0.3379	0.1117	1.3754	0.4829	0.0087	0.0629
CV (a)		15.32	16.65	9.94	30.66	25.62	2.49	6.86
Plant (P)	3	3.06^{NS}	1.79^{NS}	4.27*	4.46*	8.35**	0.77^{NS}	0.67^{NS}
W x P	3	5.98**	1.23^{NS}	0.67^{NS}	7.32**	8.04**	3.12^{NS}	2.32^{NS}
MS Error b	12	0.5186	0.1901	0.6175	0.1522	0.3588	0.6586	0.3874
CV (b)		15.19	12.49	23.37	10.20	22.08	21.59	17.01

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยบีโอดี

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	6.8^{a}	5.7^{a}	5.0^{a}	6.0^{a}	4.5^{a}	6.0^{a}	5.7^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	2.7^{b}	1.3^{b}	1.8^{b}	1.6^{b}	0.9^{b}	1.5^{b}	1.6^{b}

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยบีโอดี

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	4.2^{a}	3.2^{a}	3.6^{a}	4.1^{a}	2.6^{b}	4.0^{a}	3.6^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	5.3^{a}	3.8^{a}	4.2^{a}	3.5^{b}	1.8^{c}	3.3^{a}	3.5^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	5.0^{a}	3.6^{a}	2.7^{b}	3.6^{b}	3.0^{a}	3.9^{a}	3.5^{a}
ดินเปล่า (S)	4.4^{a}	3.4^{a}	3.0^{b}	4.2^{a}	3.4^{a}	3.8^{a}	4.0^{a}

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยร่วมต่อค่าเฉลี่ยบีโอดี

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	5.9^{b}	5.2^{b}	5.2^{ab}	6.7^{a}	4.2^{b}	5.9^{ab}	5.5^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	7.9^{a}	6.1^{a}	6.1^{a}	5.9^{bc}	2.8^{c}	5.0^{b}	5.5^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	6.1^{b}	5.6^{ab}	4.0^{b}	5.3^{c}	5.1^{ab}	6.7^{a}	5.3^{b}
ดินเปล่า (S)	7.0^{ab}	5.8^{ab}	4.6^{b}	6.2^{ab}	6.1^{a}	6.6^{a}	6.6^{a}
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	2.5^{d}	1.2^{c}	2.0^{d}	1.4^{de}	1.0^{d}	2.1^{c}	1.7^{c}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	2.7^{cd}	1.5^{c}	2.3^{d}	1.0^{e}	0.8^{d}	1.7^{c}	1.6^{c}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	3.9^{c}	1.5^{c}	1.5^{d}	2.0^{d}	1.0^{d}	1.1^{c}	1.8^{c}
ดินเปล่า (S)	1.8^{d}	1.0^{c}	1.3^{d}	2.1^{d}	0.8^{d}	1.1^{c}	1.3^{c}

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 11ก แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานส่งผลให้ค่าบีโอดีภายหลังการบำบัดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญนัยยิ่งในรอบที่ 1 2 3 5 6 และ 7 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในรอบที่ 4 ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืชนั้นพบว่ามีความแตกต่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 5 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในรอบที่ 3 และ4 ส่วนอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำกับชนิดพืชมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 1 4 และ 5 นอกจากนี้ความแตกต่างไม่สูงถึงระดับนัยสำคัญ

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 11ข ชี้ให้เห็นชัดเจนว่าทั้งค่าบีโอดีของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังจากถูกบำบัดแล้วทุกรอบ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน กล่าวคือ น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยบีโอดีต่ำมากคืออยู่ในพิสัย 4.5-6.8 และ 0.9-2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำเสนอค่าเฉลี่ยของแต่ละรอบรวม 7 รอบ (ตารางที่ 11ข) มา

ศึกษาการกระจายตัวของข้อมูล พบว่า ส่วนใหญ่ผันแปรอยู่ในพิสัย 5.7±0.7 และ 1.6±0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าต่ำมากและมีสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรสำหรับน้ำเสียชุมชนต่ำคือ 13.1 เปอร์เซ็นต์ และน้ำชลประทานสูงคือ 34 เปอร์เซ็นต การที่ค่าบีโอดีภายหลังการบำบัดมีค่าลดต่ำลงมากและเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะในการทดลองนี้ใช้ดินเหนียว (Clay, C) ซึ่งทำให้เป็นดินร่วนเหนียว (Clay Loam, CL) ด้วยการเติมทรายลงไปให้มีสัดส่วนดินเหนียว: ทรายหยาบ 3: 1 ทำให้มีปริมาณ Active Fe มากตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาค Clay มีความสัมพันธ์กับปริมาณ Active Fe และ Active Mn (Prabuddham, 1975) ดินที่ใช้ในการทดลองนี้ทุกแปลงจึงมีตัวรับอิเล็คตรอนเพียงพอที่จะให้จุลินทรีย์พวกที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนใช้ในการหายใจแล้วย่อยสลายสารอินทรีย์กลุ่มคาร์โบไฮเดรตซึ่งน่าจะเป็นน้ำตาลซูโครสมากที่สุดสำหรับน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีนี้ เพราะมีอุตสาหกรรมทำขนมอยู่หลายแห่งไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้เกือบหมด เพราะว่าน้ำเสีย ก่อนการบำบัดสำหรับงานวิจัยนี้มีค่าบีโอดีอยู่ไม่เกิน 81.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของสิทธิชัย (2538) ซึ่งพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียด้วยดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชนี้สามารถบำบัดสารอินทรีย์ซึ่งมีค่าบีโอดีส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 69.7±22.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ลดลงเหลือส่วนใหญ่อยู่เพียงในพิสัย 10.0±2.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของอรทัย (2550) สามารถบำบัดบีโอดีที่อยู่ในพิสัย 48.5±15.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ลดลงเหลือส่วนใหญ่อยู่เพียงในพิสัย 1.4±0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลงานวิจัยของยุพเยาว์ (2544) เสนอไว้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียนี้จะสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าบีโอดีสูงถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ก็ตาม แต่ควรจะได้วิจัยเพื่อยืนยันขีดความสามารถของระบบนี้กับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงแต่อยู่ในรูปอื่นๆ และอาจมีสมบัติทางเคมีอื่นๆ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง และความเค็มสูงโดยมีและไม่มีการจัดการความเป็นกรด-ด่าง และความเค็มนั้นต่อไปด้วย

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 11ค ชี้ให้เห็นว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียได้แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในรอบที่ 3 กับรอบที่ 4 และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 5 (ตารางที่ 11ก) นั้นมีค่าบีโอดีหลังการบำบัดอยู่ในพิสัยต่ำมากเพียง 1.8–5.3 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยของอิทธิพลของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่าของแต่ละรอบทั้ง 7 รอบ (ตารางที่ 11ค) มาศึกษาการกระจายของข้อมูลพบว่ามีการ

กระจายอยู่ในพิสัย 3.6±0.6, 3.6±1.1, 3.6±0.7 และ 3.7±0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าต่ำมากและต่ำกว่าที่เคยมีรายงานกันไว้ในอดีต แม้จะมีสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรต่ำ คือ 15.7, 29.0, 20.3 และ 13.3 สำหรับหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า ตามลำดับ ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่ากลไกหลักที่ทำให้เกิดการบำบัดสารอินทรีย์หรือบีโอดีในระบบนี้คือ การหายใจแบบ Anaerobic Respiration ของ Facultative Anaerobes ในดินโดยใช้ Active Fe และ Active Mn ในดินแห้งก่อนการทดลอง และ $Fe(OH)_3$ ซึ่งอาจเกิดขึ้นในวันที่ 6-7 ของแต่ละรอบของการบำบัด เมื่อน้ำที่ขังอยู่ถูกระบายออกหมดแล้วและปล่อยให้แห้งจนดินแตกระแหงเป็นเวลาอีก 2 วัน เป็นตัวรับอิเล็คตรอนตั้งแต่วันที่ 1-5 ที่มีการขังน้ำโดยใช้สารอินทรีย์กลุ่มคาร์โบไฮเดรตเป็นตัวให้อิเล็คตรอนกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หายไป ส่วนสารอินทรีย์กลุ่มโปรตีนทั้งโปรตีนธรรมดาและฟอสโฟโปรตีนน่าจะถูกนำเอาไปใช้เป็นอาหารเพื่อการสร้างเซลล์ เป็นการเพิ่มประชากรของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ซึ่งจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไป สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ที่แท้จริงจะได้นำเสนอต่อไป การไม่แตกต่างกันทางสถิติของแปลงทดลองที่มีหญ้าอาหารสัตว์และไม่มีพืชเลยนี้แสดงว่าระบบบำบัดคาร์โบไฮเดรตน้ำเสียนี้เป็นผลงานของ Facultative Anaerobes นั้นเองในดินโดยใช้ Fe (III) และ Mn (IV) เป็นตัวรับอิเล็คตรอนเพื่อการหายใจกลายเป็น CO_2 หายไปแต่ต้องมีพืชเพื่อขนย้ายมลสารอื่นๆ ที่ผ่านขบวนการบำบัดแล้วออกไปจากระบบดิน หลังจากเก็บเกี่ยวพืชเอาไปใช้ต่อไปทำให้ไม่เกิดการสะสมมลสารในดิน สมมติฐานที่ว่าควรจะมีการบำบัดสารอินทรีย์ในแนวนอนที่เป็นผลงานของ Aerobes ที่มาใช้ O_2 ซึ่งถูกปลดปล่อยบางส่วนออกมาที่ผิวรากของพืชที่เหมาะสมแล้ว Aerobes ในดินซึ่งน่าจะเป็น Facultative Anaerobes นำเอาไปใช้เป็นตัวรับอิเล็คตรอนเพื่อการหายใจแล้วได้รับคาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียซึ่งจะไหลมาหารากตลอดเวลากลางวันที่มีแสงอาทิตย์ เพราะพืชจะต้องดูดน้ำตลอดเวลาเพื่อเอาไปใช้ระบายความร้อนออกจากผิวใบ และเพื่อเอาไปใช้เป็นวัตถุดิบในขบวนการ Photosynthesis โดยคาร์โบไฮเดรตประเภทกลูโคสจะถูกใช้เป็นตัวให้อิเล็คตรอนโดยตรง ส่วนคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ก็จะถูกน้ำย่อยของ Aerobes ที่ถูกปล่อยออกมาย่อยให้เป็นกลูโคสและถูกย่อยสลายกลายเป็น CO_2 หายไป ค่าบีโอดีจึงลดลงเพิ่มขึ้นจากที่กิจกรรมของ Facultative Anaerobes ซึ่งเป็นการบำบัดในแนวดิ่งดังได้กล่าว

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ตารางที่ 11ง แสดงถึงอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีต่อค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำหลังการบำบัดในทุกรอบ แม้ว่าผลการวิเคราะห์ Analysis of Variance จะพบความแตกต่างทางสถิติระดับนัยสำคัญยิ่งเฉพาะในรอบที่ 1 4 และ 5 ส่วนในรอบอื่นๆ จะไม่ถึงระดับ

นัยสำคัญก็ตาม แต่เมื่อวิเคราะห์โดย DMRT หรือ LSR แล้วก็พบความแตกต่างกันในทุกรอบให้เห็นได้ แต่เมื่อสังเกตอันดับของความแตกต่างระหว่างรอบที่มีนัยสำคัญยิ่งกับรอบที่ไม่มีนัยสำคัญก็จะพบความแตกต่างของการบำบัดระหว่างอิทธิพลของชนิดพืชภายในแต่ละแหล่งน้ำไม่เหมือนกัน กล่าวคือเมื่อไม่มีนัยสำคัญอันดับของความแตกต่างระหว่างชนิดพืชในน้ำเสียชุมชน (W_1) กับน้ำชลประทาน (W_2) นั้นคล้ายคลึงกันหากนำเอาค่าเฉลี่ยที่ได้ไป Plot Graph ให้ชนิดพืช (P) อยู่ในแกน X และค่า BOD เฉลี่ยอยู่ในแกน Y ก็จะได้เส้น Graph 2 เส้นสำหรับ W_1 และ W_2 ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นขนาน ส่วนรอบที่มีนัยสำคัญยิ่งจะพบจุดตัดของเส้นทั้งสองได้ไม่ว่าจะต่อไปทางด้านซ้ายหรือขวา จากตารางที่ 11 จะพบว่าเกิดความแตกต่างของ Pattern ของอันดับชนิดพืช (P) ใน W_1 และ W_2 ในรอบที่ 1 4 และ 5 อย่างชัดเจน กล่าวคือ $P_2 \geq S > P_3 = P_1$ ใน W_1 และ $P_3 \geq P_2 > P_1 = S$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 1 $P_1 \geq S \geq P_2 \geq P_3$ ใน W_1 และ $S = P_3 \geq P_1 \geq P_2$ ใน W_2 ในรอบที่ 4 และ $S \geq P_3 \geq P_1 > P_2$ ใน W_1 และ $P_1 = P_2 = P_3 = S$ ใน W_2 ในรอบที่ 5 ส่วนในทุกรอบที่เหลืออันดับใน W_1 และ W_2 คล้ายคลึงกันมาก กล่าวคืออยู่ในอันดับ $P_2 \geq P_3 = S \geq P_1$ เหมือนกัน ประโยชน์จากการวิเคราะห์ DMRT หรือ LSR ในอิทธิพลร่วมนี้มีประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก เพราะค่า BOD ของน้ำหลังการบำบัดแล้วล้วนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งมากซึ่งแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของระบบนี้อย่างชัดเจน ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมที่พอจะได้รับจากการศึกษาเรื่องนี้ก็คือ ประสิทธิภาพที่สูงมากของ Facultative Anaerobes ในดินนาที่แห้งสนิทก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสียนี้ยังสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำชลประทานได้ด้วยซึ่งจะนำเสนอในเรื่องประสิทธิภาพต่อไป

2.1.2 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำภายหลังการบำบัด

ตารางที่ 12 นำเสนอผลการวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบง่ายๆ สำหรับคุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช ในสภาพให้น้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียชุมชนจากการทดลอง 3 ซ้ำ ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า ผันแปรอยู่ในพิสัย 6.9-7.6 7.0-7.4 7.0-7.6 และ 7.1-7.6 ตามลำดับ ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 7.2 ± 0.2 7.2 ± 0.2 7.3 ± 0.2 และ 7.4 ± 0.2 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV น้อยมากเพียงร้อยละ 3.2 2.3 3.0 และ 2.3 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำก่อนการบำบัดและภายหลังการบำบัด พบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างภายหลังการบำบัดในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่ามีค่าลดลงกว่าในน้ำดิบก่อนการบำบัด ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดความเป็นกรด-ด่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3 3 3 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การลดลงของความเป็นด่างของน้ำเสียชุมชน

ก่อนการบำบัดนี้ลงมาอยู่ระดับใกล้เป็นกลางมากขึ้นนี้สนับสนุนความดีของระบบบำบัดนี้ เพราะในขบวนการหายใจของจุลินทรีย์จะเกิดกรดอินทรีย์ซึ่งจะทำให้อนุมูลคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตถูกสลายตัวไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หายไปจากระบบได้ด้วย

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid Point	Mean	SD	CV (%)	Ap.eff (%)
	1	2	3	4	5	6	7					
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)												
ก. ก่อนบำบัด	7.6	7.5	7.6	7.4	7.2	7.5	7.1	7.5	7.4	0.2	2.6	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	7.6	7.2	7.3	7.2	7.1	7.0	6.9	7.4	7.2	0.2	3.2	3
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	7.4	7.3	7.4	7.2	7.0	7.0	7.2	7.3	7.2	0.2	2.3	3
หญ้าอุบล	7.6	7.4	7.5	7.2	7.0	7.1	7.4	7.4	7.3	0.2	3.0	3
พาสพาลัม (P_3)												
ดินเปล่า (S)	7.6	7.3	7.4	7.3	7.5	7.1	7.5	7.5	7.4	0.2	2.3	0
ในน้ำชลประทาน (W_2)												
ก. ก่อนบำบัด	7.8	7.9	7.8	7.7	7.5	7.6	7.7	7.8	7.7	0.1	1.7	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	7.5	7.3	7.4	7.1	7.0	7.1	7.5	7.3	7.3	0.2	2.8	5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	7.2	7.6	7.5	7.2	7.2	7.3	7.5	7.2	7.4	0.2	2.3	4
หญ้าอุบล	7.7	7.6	7.5	7.3	7.2	7.3	7.6	7.5	7.5	0.2	2.6	3
พาสพาลัม (P_3)												
ดินเปล่า (S)	7.5	7.6	7.7	7.4	7.2	7.3	7.5	7.5	7.5	0.2	2.3	3

ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำชลประทานเมืองเพชรบุรี เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชในสภาพให้น้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน (ตารางที่ 12) พบว่ามีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 7.0-7.5 7.2-7.6 7.2-7.7 และ 7.2-7.7 ตามลำดับ ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 7.3$\pm$0.2 7.4$\pm$0.2 7.5$\pm$0.2 และ 7.5$\pm$0.2 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV น้อยมากเพียงร้อยละ 2.8 2.3 2.6 และ 2.3 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำก่อนการบำบัดและภายหลังการบำบัด พบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างภายหลังการบำบัดในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า มีค่าลดลง

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าเฉลี่ยโดยสังเขปเท่ากับ 5 4 3 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การมีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยสังเขป (การลดความเป็นด่าง) ในน้ำชลประทานหลังการบำบัดนี้ก็สามารถอธิบายได้ด้วยการเกิดกรดอินทรีย์แล้วกำจัดคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตบางส่วนออกไปจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าในน้ำเสียก็เพราะความเป็นด่างก่อนการบำบัดของน้ำเสียชุมชนต่ำกว่าของน้ำชลประทานเพราะน้ำเสียชุมชนน่าจะมีกรดแลกติกมากกว่าเพราะน่าจะมีน้ำตาลมากกว่าและเกิดกรดไพรูวิก ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็คตรอนที่ดีตัวหนึ่ง (Ponnamperuma, 1965) ขบวนการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมจึงสูงกว่าดังได้กล่าวแล้ว และผลจากการใช้กรดไพรูวิกเป็นตัวรับอิเล็คตรอนโดยมีน้ำตาลกลูโคสเป็นตัวให้อิเล็คตรอนก็ส่งผลให้เกิดกรดแลกติกขึ้น การลดลงของความเป็นด่างภายหลังการบำบัดบ่งชี้ได้ว่าพืชน่าจะมีการดูดซับอนุมูลบวกที่เป็นด่าง (Basic Cation: Na^{+} K^{+} Ca^{2+} Mg^{2+}) ออกไปจากดินและน้ำมากขึ้นด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่างจึงลดลง และเป็นไปได้ว่าบริเวณรากพืชมีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาเพื่อช่วยในการละลายธาตุอาหารพืชในสภาพที่เป็นด่างโดยตรงและ/หรือส่งเสริมให้จุลินทรีย์ดินมาอาศัยอยู่บริเวณรากแบบพึ่งพาอาศัยกัน และปลดปล่อยกรดออกมาละลายธาตุอาหารให้กับพืช และพืชก็จะปลดปล่อยคาร์โบไฮเดรตให้กับจุลินทรีย์ (Alexander, 1961)

เมื่อนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 2 มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญตามแผนการทดลองแบบ Split Plot Design และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดของพืชด้วย Duncan's Multiple Range Test สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 13 ในตารางที่ 13ก นำเสนอเฉพาะค่า F-value ตารางที่ 13ข นำเสนอค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 11ค นำเสนอค่าเฉลี่ยค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ขณะที่อิทธิพลร่วมนั้นนำเสนอในตารางที่ 13ง ผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 13 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ก. ค่า F value MS Error และCV(%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	0.45^{NS}	22.73^{*}	0.99^{NS}	0.07^{NS}	1.00^{NS}	48.00^{*}	9.68^{NS}
MS Error a	2	0.0929	0.0154	0.0950	0.0254	0.0067	0.0050	0.0388
CV (a)		4.06	1.68	4.14	2.20	1.14	0.99	2.67
Plant (P)	3	6.41^{**}	2.13^{NS}	0.55^{NS}	2.32^{NS}	2.48^{NS}	1.41^{NS}	1.75^{NS}
W x P	3	0.44^{NS}	0.52^{NS}	0.41^{NS}	0.92^{NS}	2.11^{NS}	0.31^{NS}	1.52^{NS}
MS Error b	12	0.0217	0.0242	0.0761	0.0175	0.0347	0.0178	0.0624
CV (b)		1.96	2.10	3.71	1.83	2.60	1.86	3.38

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	7.6^{a}	7.3^{b}	7.4^{a}	7.3^{a}	7.2^{a}	7.1^{b}	7.3^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	7.5^{a}	7.5^{a}	7.5^{a}	7.2^{a}	7.1^{a}	7.3^{a}	7.5^{a}

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	7.6^{a}	7.3^{a}	7.3^{a}	7.2^{a}	7.1^{a}	7.1^{a}	7.2^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	7.3^{c}	7.5^{a}	7.5^{a}	7.2^{a}	7.1^{a}	7.2^{a}	7.4^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	7.7^{a}	7.5^{a}	7.5^{a}	7.2^{a}	7.1^{a}	7.2^{a}	7.5^{a}
ดินเปล่า (S)	7.5^{b}	7.4^{a}	7.5^{a}	7.4^{a}	7.3^{a}	7.2^{a}	7.5^{a}

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยร่วมต่อค่าเฉลี่ยความกรด-ด่าง

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	7.6^{ab}	7.2^{b}	7.3^{a}	7.2^{b}	7.1^{b}	7.0^{b}	6.9^{b}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	7.4^{bc}	7.3^{b}	7.4^{a}	7.2^{b}	7.0^{b}	7.0^{b}	7.2^{ab}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	7.6^{ab}	7.4^{ab}	7.5^{a}	7.2^{b}	7.0^{b}	7.1^{ab}	7.4^{ab}
ดินเปล่า (S)	7.6^{ab}	7.3^{b}	7.4^{a}	7.3^{ab}	7.5^{a}	7.1^{ab}	7.5^{ab}
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	7.5^{a-c}	7.3^{b}	7.4^{a}	7.1^{b}	7.0^{b}	7.1^{ab}	7.5^{ab}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	7.2^{c}	7.6^{a}	7.5^{a}	7.2^{ab}	7.2^{ab}	7.3^{a}	7.5^{ab}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	7.7^{a}	7.6^{a}	7.5^{a}	7.3^{ab}	7.2^{ab}	7.3^{a}	7.6^{a}
ดินเปล่า (S)	7.5^{a-c}	7.6^{a}	7.7^{a}	7.4^{a}	7.2^{ab}	7.3^{a}	7.5^{ab}

1) การทดสอบความแตกต่าง

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 13ก พบว่าอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในรอบที่ 2 และรอบที่ 6 ส่วนอิทธิพลอิสระของพืชส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่าง มีความแตกต่างย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเฉพาะรอบที่ 1 เพียงรอบเดียว และอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำกับชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างสูงถึงระดับนัยสำคัญ ปริมาณค่า CV (a) และ CV (b) ต่ำมาก (<7.5%) สามารถวิเคราะห์และอธิบายได้ดังนี้

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 13ข แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียชุมชนจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่าน้ำชลประทานอย่ามีนัยสำคัญในรอบที่ 2 และ 6 เท่านั้น นอกนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาในภาพรวมทั้ง 7 รอบนั้น พบว่า น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างอยู่ในพิสัย 7.1-7.6 และ 7.1-7.5 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของแต่ละรอบทั้ง 7 รอบใน

ตารางที่ 13ข มาศึกษาการกระจายตัวแบบปกติพบว่า ส่วนใหญ่ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน หลังการบำบัดจะอยู่ในพิสัย 7.3±0.2 และ 7.4±0.2โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรต่ำมาก เพียงร้อยละ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ การที่ค่าเฉลี่ยทั้งในรอบที่ 2 และ 6 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และโดยรวมของความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียชุมชนหลังการบำบัดมีแนวโน้มต่ำกว่าของน้ำชลประทานเล็กน้อยนั้นน่าจะเนื่องจากในน้ำเสียชุมชนมีน้ำตาลมากกว่าจึงมีการหายใจได้มากกว่า และเกิดกรดได้มากกว่า แต่ที่ไม่แตกต่างถึงระดับนัยสำคัญนั้นน่าจะเป็นเพราะโปรตอนที่เกิดขึ้นในกรดถูกนำเอาไปใช้ในขบวนการหายใจแบบ Anaerobic ของ Anaerobes ในดินให้กลายเป็นน้ำ (Ponnamperuma, 1965) โดยใช้ Active Fe และ Mn ที่มีอยู่ในดินแห้งก่อนการขังน้ำและอาจใช้ $Fe(OH)_3$ ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการระบายน้ำในวันที่ 6 แล้วปล่อยให้แห้งรวม 2 วันเป็นตัวรับอิเล็กตรอนนั่นเอง ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำทั้งก่อนและหลังการบำบัดนี้ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนที่มีประชากร 2,500 คนขึ้นไป โดยกำหนดไว้ที่ pH 5-9 (เปี่ยมศักดิ์, 2536)

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 13ค แสดงอิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในน้ำภายหลังการบำบัด ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเฉพาะรอบที่ 1 (ตารางที่ 11ก) เท่านั้น มีพิสัยแคบๆ อยู่ระหว่าง 7.1–7.7 เท่านั้น และเมื่อทดลองนำเอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบทั้ง 7 รอบมาศึกษาการกระจายแบบปกติพบว่า ใน 4 ตำรับทดลองนั้นมีพิสัยของความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงแคบๆ คือ 7.3±0.2 7.3±0.2 7.4±0.2 และ 7.4±0.1 โดยมีสัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรต่ำมากคือเพียงร้อยละ 2.4 2.2 3.0 และ 1.6 ตามลำดับ

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

จากตารางที่ 13ก แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกรอบการทดลอง แต่ถ้าได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติต่อไปโดยใช้ DMRT แล้ว นำเสนอไว้ในตารางที่ 13ง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความแตกต่างในแต่ละรอบทั้งในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน พบว่าในแต่ละรอบแปลงดินเปล่า (S) ทั้งในน้ำเสียชุมชน (W_1) และน้ำชลประทาน (W_2) ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสูงสุด ส่วนในแปลงที่มีพืชนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างชัดเจน สามารถจัดอันดับความแตกต่างของ Pattern โดยรวมของอันดับชนิดพืช (P) ใน W_1 และ W_2 คือ $S>P_3>P_1>P_2$

2.1.3 ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำภายหลังการบำบัด

ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียชุมชนภายหลังการบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า มีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 2.5-3.0 1.9-2.8 2.0-3.0 และ 2.6-3.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 2.7$\pm$0.6 2.3$\pm$0.3 2.5$\pm$0.3 และ 2.9$\pm$0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า CV ร้อยละ 5.5 14.5 12.5 และ 7.7 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดโดยสังเขปเฉลี่ยเท่ากับ 94 95 94 และ 93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่ามีไนโตรเจนทั้งหมดส่วนใหญ่มีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 1.2-1.9 1.1-2.1 1.0-1.6 และ 1.8-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และส่วนใหญ่กระจายอยู่ในพิสัย 1.6$\pm$0.2 1.8$\pm$0.4 1.3$\pm$0.2 และ 1.9$\pm$0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า CV ร้อยละ 15.6 19.2 16.1 และ 3.7 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 55 50 64 และ 47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid point	Mean	SD	CV (%)	Ap.eff (%)
	1	2	3	4	5	6	7					
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)												
ก. ก่อนบำบัด	37.6	41.1	45.0	43.4	49.2	50.7	49.3	44.0	45.2	4.5	10.1	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	3.0	2.7	2.8	2.8	2.7	2.5	2.8	2.9	2.7	0.6	5.5	94
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	2.1	1.9	2.0	2.8	2.6	2.3	2.4	2.5	2.3	0.3	14.5	95
หญ้าอุบล	2.3	2.5	2.0	3.0	2.6	2.7	2.5	2.6	2.5	0.3	12.5	94
พาสพาลัม (P_3)												
ดินเปล่า (S)	2.9	2.7	2.6	3.3	3.0	2.9	2.9	3.1	2.9	0.2	7.7	93
ในน้ำชลประทาน (W_2)												
ก. ก่อนบำบัด	3.7	2.9	5.0	4.5	2.9	2.7	3.6	4.1	3.6	0.9	24.1	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	1.2	1.3	1.7	1.5	1.7	1.9	1.6	1.4	1.6	0.2	15.6	55
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.1	1.3	1.7	1.8	2.1	2.1	1.8	1.5	1.8	0.4	19.2	50
หญ้าอุบล	1.0	1.2	1.2	1.5	1.6	1.5	1.3	1.3	1.3	0.2	16.1	64
พาสพาลัม (P_3)												
ดินเปล่า (S)	1.8	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	0.1	3.7	47

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดภายหลังการบำบัดมีปริมาณลดลงทั้งในแปลงที่มีพืชและในแปลงที่ไม่มีพืช และมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก (ขนาดชุมชนมากกว่า 2,501 คนขึ้นไป) ที่กำหนดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไว้ไม่เกิน 35.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2539) การที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนภายหลังการบำบัดมีปริมาณลดลงนี้น่าจะเป็นเพราะนอกจากแอมโมเนียมซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของไนโตรเจนทั้งหมด (26.5-37.1 เปอร์เซ็นต์ ในตารางที่ 4) จะถูกพืชดูดเอาไปใช้เป็นประโยชน์เพื่อการสร้างความเจริญเติบโตและเหลือถูกดึงดูดยึดไว้โดยอนุภาคดินเหนียว แล้วยังน่าจะเกิดจากการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมหายไปจากน้ำที่ระบายออกหลังจากถูกบำบัดในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชนี้แล้วโดยกลไกทั้งสองที่กล่าวแล้ว เพราะประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดนี้สูงกว่า 26.5-37.1เปอร์เซ็นต์ และ 22.0-51.4 เปอร์เซ็นต์ ของ

ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ตามลำดับ ซึ่งจะได้พิจารณาในเรื่องความสัมพันธ์กับอายุของพืชต่อไป

เมื่อนำข้อมูลดิบในตารางผนวกที่ 3 มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญ แล้วเสนอไว้ในตารางที่ 15 โดยตารางที่ 15ก วิเคราะห์ความปรวนแปรแล้วนำเสนอค่า F-value ส่วนตารางที่ 15ข นำเสนอค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 15ค นำเสนอค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ขณะที่อิทธิพลร่วมนั้นนำเสนอในตารางที่ 15ง ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 15ก พบว่าอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบที่ 1 3 4 และรอบที่ 7 ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืชส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติรอบที่ 1 3 และ 4 ส่วนอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำกับชนิดพืช พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะรอบที่ 3 เพียงรอบเดียว เป็นที่น่าสังเกตว่าพบความแตกต่างกันทางสถิติในอิทธิพลอิสระของพืชเฉพาะในช่วงเวลา 4 สัปดาห์แรกซึ่งเป็นระยะก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าทั้งนั้น อะไรเป็นสาเหตุนั้นจะได้วิเคราะห์ในตอนต่อไป สัมประสิทธิ์ของความปรวนแปรที่ต่ำมากๆ สามารถแยกอิทธิพลอิสระได้ชัดเจนกว่าอิทธิพลร่วม กล่าวคือการพบความแตกต่างระหว่างแหล่งน้ำระดับนัยสำคัญเท่านั้นในรอบที่ 2 และรอบที่ 5 เพราะมีค่า CV(a) สูงกว่ารอบอื่นๆ กล่าวคือร้อยละ 14.44 และ 20.71 ตามลำดับ แต่ทำไมจึงทำให้พบความแตกต่างระดับนัยสำคัญเท่านั้นในรอบที่ 6 ทั้งๆ ที่มี CV(a) เพียงร้อยละ 9.96 นั้นจะได้อธิบายในตอนหลังซึ่งเกี่ยวกับการฟื้นตัวของหญ้าบางชนิดเพราะได้รับอิทธิพลมาจากปุ๋ยยูเรียที่ใส่ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป การมี CV(b) ที่ต่ำมากในรอบที่ 3 คือเพียงร้อยละ 8.42 ทำให้มีอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำกับชนิดพืชสูงถึงระดับนัยสำคัญได้ แต่ทำไมจึงไม่ส่งผลกระทบถึงอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้ในรอบที่ 4 และ 5 ซึ่งมี CV(b) ต่ำกว่าร้อยละ 10 คือ 8.30 และ 9.43 ตามลำดับนั้นยังหาคำตอบไม่ได้

ตารางที่ 15 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ก. ค่า F value MS error และ CV(%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	359.08**	79.72*	2,700.00**	188.65**	21.89*	78.77*	329.33**
MS Error a	2	0.0254	0.0817	0.0012	0.0538	0.2179	0.0487	0.0179
CV (a)		8.21	14.44	1.78	10.01	20.71	9.96	6.26
Plant (P)	3	7.36**	4.93*	22.09**	6.29**	2.84^{NS}	0.64^{NS}	3.17^{NS}
W x P	3	1.79^{NS}	0.80^{NS}	5.43*	2.26^{NS}	2.74^{NS}	3.35^{NS}	1.46^{NS}
MS Error b	12	0.0976	0.1289	0.0279	0.0369	0.0451	0.0997	0.0899
CV (b)		16.09	18.14	8.42	8.30	9.43	14.25	14.02

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	2.6^{a}	2.5^{a}	2.4^{a}	3.0^{a}	2.7^{a}	2.6^{a}	2.6^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	1.3^{b}	1.5^{b}	1.6^{b}	1.7^{b}	1.8^{b}	1.8^{b}	1.6^{b}

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	2.1^{a}	2.0^{a}	2.2^{a}	2.2^{b}	2.2^{a}	2.2^{a}	2.2^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.6^{b}	1.7^{b}	1.9^{b}	2.3^{b}	2.3^{a}	2.2^{a}	2.1^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1.7^{b}	1.8^{b}	1.6^{c}	2.2^{b}	2.1^{a}	2.1^{a}	1.9^{a}
ดินเปล่า (S)	2.4^{a}	2.4^{a}	2.3^{a}	2.6^{a}	2.4^{a}	2.4^{a}	2.4^{a}

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	3.0^{a}	2.7^{a}	2.8^{a}	2.8^{b}	2.7^{ab}	2.5^{ab}	2.8^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	2.1^{b}	2.1^{b}	2.0^{b}	2.8^{b}	2.6^{b}	2.3^{a}	2.4^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	2.3^{b}	2.3^{ab}	2.0^{b}	3.0^{ab}	2.6^{b}	2.7^{a}	2.5^{a}
ดินเปล่า (S)	2.9^{a}	2.9^{a}	2.6^{a}	3.3^{a}	3.0^{a}	2.9^{a}	2.9^{a}
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	1.2^{c}	1.3^{c}	1.7^{b}	1.5^{d}	1.8^{cd}	1.9^{b}	1.6^{bc}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.1^{c}	1.3^{c}	1.7^{b}	1.8^{cd}	2.1^{c}	2.1^{b}	1.8^{b}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1.1^{c}	1.2^{c}	1.2^{c}	1.5^{d}	1.5^{d}	1.5^{c}	1.3^{c}
ดินเปล่า (S)	1.8^{b}	2.0^{b}	1.9^{b}	1.9^{c}	1.9^{c}	1.8^{bc}	1.9^{b}

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 15ข แสดงอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำภายหลังการบำบัด ซึ่งพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนหลังการบำบัดสูงกว่าในน้ำชลประทานอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบที่ 1 (2.6^{a} และ1.3^{b}) รอบที่ 3 (2.4^{a} และ1.3^{b}) รอบที่ 4 (3.0^{a} และ1.7^{b}) และรอบที่ 7 (2.6^{a} และ1.6^{b}) และในระดับนัยสำคัญในรอบที่ 2 (2.5^{a} และ 1.5^{b}) รอบที่ 5 (2.7^{a} และ 1.8^{b}) และรอบที่ 6 (2.6^{a} และ 1.8^{b}) ทั้งนี้เพราะน้ำเสียชุมชนมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดก่อนบำบัดสูงกว่า (ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 45.2 ± 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำชลประทานมาก (ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 3.6 ± 0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแต่ละรอบรวมทั้ง 7 รอบในตารางที่ 15ข นี้มาศึกษาการกระจายแบบปกติพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังการบำบัดส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 2.6$\pm$0.2 และ 1.6$\pm$0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยมีค่า CV ค่อนข้างต่ำคือ 7.2 เปอร์เซ็นต์ และ 11.0 เปอร์เซ็นต์ ในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ตามลำดับ การลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังจากการบำบัดโดยระบบดินเปียกสลับแห้งร่วมกับพืชทั้งในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานจาก 45.2 ± 4.5 และ 3.6 ± 0.9 มาเหลือเพียง 2.6 ± 0.2 และ 1.6 ± 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับนี้ เกิดจากการดูดใช้ของ

Facultative Anaerobes เพื่อนำมาสร้างเซลล์ใหม่ๆอย่างรวดเร็วหลังจากที่ได้พลังงานจลน์มาจากการหายใจแบบ anaerobic respiration โดยใช้คาร์โบไฮเดรตในน้ำเสียและจากน้ำชลประทานเป็นตัวให้อิเลคตรอน และใช้ NO_3^-N Mn(IV)-Mn และFe(III)-Fe ในวันแรกของรอบแรกเป็นตัวรับอิเลคตรอนและหลังจากนั้นเหลือเพียง Mn(IV)-Mn และFe(III)-Fe เป็นตัวรับอิเลคตรอนและในรอบสุดท้ายอาจเหลือเพียง Fe(III)-Fe เท่านั้น เพราะ NO_3^--N จะรับอิเลคตรอนแล้วถูกเปลี่ยนเป็น N_2 หมดไปอย่างรวดเร็ว เพราะมีอยู่น้อยและให้พลังงานได้มากถัดจาก O_2 ลงมา ส่วน Mn(IV)-Mn นั้นก็มักมีไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในขณะที่ Fe(III)-Fe นั้น มักมีไม่น้อยกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Ponnampreuma,1965 และไพบูลย์, 2528) อินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูก Facultative Anaerobes ดูดใช้ จะค่อยๆถูกปลดปล่อยในรูปของ NH_4-N ออกมาเป็นของเสีย แล้วถูกอนุภาคดินเหนียวดูดซับเอาไว้และบางส่วนจะถูกหญ้าอาหารสัตว์ดูดเอาไปใช้เมื่อรากของหญ้าหยั่งลงมาถึงซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 15ค แสดงอิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบที่ 1 3 และ 4 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในรอบที่ 2 (ตารางที่ 15ก) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในอันดับ $S(2.4^a) = P_1(2.1^a) > P_3(1.7^b) = P_2(1.6^b)$ ในรอบที่ 1 อยู่ในอันดับ $S(2.4^a) > P_1(2.0^b) = P_3(1.8^b) = P_2(1.7^b)$ ในรอบที่ 2 อยู่ในอันดับ $S(2.3^a) = P_1(2.2^a) > P_2(1.9^b) > P_3(1.6^c)$ ในรอบที่ 3 และอยู่ในอันดับ $S(2.6^a) > P_2(2.3^b) = P_1(2.2^b) = P_3(2.2^b)$ ในรอบที่ 4 ซึ่งล้วนอยู่ในช่วงเวลาก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าทั้งนั้น ส่วนหลังจากมีการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าแล้วทั้งรอบที่ 5 6 และ 7 ล้วนอยู่ในอันดับ $S = P_1 = P_2 = P_3$ ซึ่งมีพิสัยของค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนหลังการบำบัดแคบมากและใกล้เคียงกับก่อนมีการใส่ปุ๋ยยูเรียมาก คืออยู่ในพิสัย 2.1 – 2.4 2.1 – 2.4 และ 1.9 – 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งๆ ที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปถึง 9,630 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อบ่อ ข้อมูลนี้ชี้ชัดเจนว่าไนโตรเจนที่ใส่ลงไปในดินทั้งหมดทั้งจากน้ำและจากปุ๋ยนั้นส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในดินและเข้าไปอยู่ในพืชบ้าง เนื่องจากในแปลงที่มีพืชนั้นมิได้มีไนโตรเจนทั้งหมดถูกปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างกันทางสถิติเลยตั้งแต่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นต้นมา การมีไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงพืชบางชนิดก่อนมีการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นไม่ควรจะเกิดจากการดูดใช้ของพืชแม้ว่าในปริมาณ TKN ก่อนบำบัดนั้นจะมี NH_4^+-N ปนอยู่ถึงร้อยละ 26.5 – 37.1 (ตารางที่ 4) และร้อยละ 22.0 – 51.4 (ตารางที่ 5) แต่ NH_4^+-N นี้ก็ควรกระจายอยู่ในดินอย่างสม่ำเสมอตลอดความลึกประมาณ 30 เซนติเมตรในรอบที่ 1 และตื้นขึ้นๆ เนื่องจากก้อนดินซึ่ง

ก่อให้เกิด Macropores มากในรอบที่ 1 นั้นจะถูกทำลายลงกลายเป็น Micropores มากขึ้นๆ เมื่อรอบของการขังน้ำเพิ่มขึ้นๆ ซึ่งจะคาดคะเนต่อไปในตอนที่เกี่ยวกับคำวิจารณ์เหตุที่ทำให้พืชต่างชนิดกันแล้วมีความสูงต่างกันเพราะพัฒนาการของรากต่างกันต่อไป อะไรทำให้เกิดการดูดยึด TKN ในบ่อที่ปลูก P_2 และ P_3 สูงกว่า P_1 นั้นยังหาคำอธิบายไม่ได้แต่ไม่ควรจะเกิดจากการดูดใช้ NH_4^+-N ที่อยู่ใน TKN ก่อนบำบัดซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 33.5 ± 5.82 (ตารางที่ 4) และ 39.2 ± 10.08 (ตารางที่ 5) ใน W_1 และ W_2 ตามลำดับ เพราะทั้ง P_2 และ P_3 เตี้ยกว่า P_1 มาก และล้วนแสดงอาการขาด N ใน 4 สัปดาห์แรกเหมือนๆ กัน เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยแต่ละรอบทั้ง 7 รอบในตารางที่ 15ค มาศึกษาการกระจายแบบปกติพบว่าในแปลงที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และแปลงที่มีแต่ดินเปล่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดผันแปรอยู่ในพิสัยแคบและมีปริมาณต่ำมาก คือ 2.2±0.1 2.0±0.3 1.9±0.2 และ 2.4±0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า CV ค่อนข้างต่ำ คือ ร้อยละ 3.6 14.2 11.8 และ 3.7 ตามลำดับ การสูงกว่าของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังการบำบัดในดินเปล่าเมื่อเปรียบเทียบกับในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ก็น่าจะเนื่องมาจากการดูดเอาไปใช้ของพืชนั่นเอง เพราะในน้ำเสีย ก่อนการบำบัดนั้นมีแอมโมเนียมซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงอยู่แล้วคือ 26.5–37.1 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) และ 22.0–51.4 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5) ของไนโตรเจนทั้งหมดและอีกส่วนหนึ่งก็มาจากผลงานของ Ammonifiers ในดินดังได้กล่าวแล้ว

4) อิทธิพลร่วมของชนิดน้ำและชนิดพืช

สืบเนื่องจากการค้นพบความแตกต่างระดับนัยสำคัญของอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้เฉพาะในรอบที่ 3 ในตารางที่ 15ก จึงได้วิเคราะห์ทางสถิติต่อไปโดยใช้ DMRT แล้ว พบว่าในรอบที่ 3 มีความแตกต่างถึงระดับนัยสำคัญเฉพาะในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานโดยในตำรับหลัก (น้ำชลประทาน) นี้ ดินเปล่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังการบำบัดอยู่มากที่สุดคือ 1.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนตำรับย่อยที่เหลือซึ่งผันแปรอยู่ในพิสัย 1.2–1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนในตำรับทดลองหลัก (น้ำเสียชุมชน) ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังการบำบัดแล้วในพิสัย 2.0–2.8 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทิศทางของความแตกต่างที่แตกต่างกันนี้เองที่ทำให้โอกาสที่จะเป็นแนวขนานของค่าเฉลี่ยของตำรับย่อยทั้ง 4 ในตำรับหลักทั้ง 2 นี้เป็นไปได้ กลไกหลักที่ควบคุมการลดลง (บำบัด) ไนโตรเจนทั้งหมดในรอบที่ 3 นี้คงจะเกิดจากการดูดซับปริมาณแอมโมเนียมซึ่งมีอนุมูลบวกซึ่งมีอยู่สูงมากในน้ำเสียชุมชนถึง 28.0 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) และสูงในน้ำชลประทานคือ 22.0 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5) โดยอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบเป็นกลไกหลัก ส่วนการดูดซับโดยรากพืชนั้นคงจะเป็นกลไกเสริมเพราะพัฒนาการของรากยังไม่น่าจะดีนัก

2.1.4 แอมโมเนียมในน้ำภายหลังการบำบัด

อินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำทิ้งน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานเมื่อไหลลงไปในดินจะเกิดการย่อยสลายโปรตีนโดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Herterotroph) กระบวนการย่อยสลายนี้เป็นแบบ Enzymatic Digestion ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน พวก Amino Compound ต่างๆ เช่น Proteose และ Peptone จนในที่สุดเปลี่ยนต่อไปอีกเป็นพวกอะมีน และกรดอะมิโนต่างๆ ซึ่งจุลินทรีย์จะได้พลังงานจากกระบวนการย่อยสลายโปรตีน ส่วนสารประกอบอะมีน และกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นนั้นบางส่วนจะถูกแปรสภาพไปเป็นสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่นๆ โดยกระบวนการที่เรียกว่า แอมโมนิฟิเคชั่น กระบวนการนี้จะทำการเปลี่ยนสารประกอบพวกอะมีน และกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) แอลกอฮอล์ (R-OH) และพลังงาน (Energy) โดยจุลินทรีย์พวก Heterotroph แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ แล้วแตกตัวเป็นแอมโมเนียมอิออน และไฮดรอกซิลอิออน แล้วทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนอิออนซึ่งได้มาจากการย่อยสลายสารคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นน้ำ ส่วนแอมโมเนียมอิออนนั้นก็จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปอีก และมีการเปลี่ยนแปลงได้ 2 ทาง คือ (1) จุลินทรีย์นำเอาไปใช้ และ (2) พืชนำไปใช้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา,2544)

ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียชุมชนภายหลังการบำบัดปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนด้วยหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่ามีค่าผันแปรอยู่ในพิสัย 0.9-1.5 0.8-1.1 0.9-1.3 และ 0.9-1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 1.0 ± 0.2 1.0 ± 0.1 1.1 ± 0.1 และ 1.0 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า CV ร้อยละ 18.0 11.6 13.3 และ 9.6 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยสังเขปเฉลี่ยสูงมากคือ 93 93 92 และ 93 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16) ซึ่งใกล้เคียงกับประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดโดยสังเขปเฉลี่ยคือ 94 95 94 และ 93 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 14) ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid Point	Mean	SD	CV (%)	Ap.eff (%)
	1	2	3	4	5	6	7					
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)												
ก. ก่อนบำบัด	10.8	10.9	12.6	15.1	18.2	18.8	14.3	12.9	14.3	3.2	22.4	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	1.1	1.2	1.1	0.9	1.5	0.7	1.0	1.0	1.0	0.2	18.0	93
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	0.8	1.0	1.1	1.0	0.1	11.6	93
หญ้าอุบล พาสพาลัม (P_3)	1.2	1.0	0.9	1.2	1.3	1.0	1.1	1.2	1.1	0.1	13.3	92
ดินเปล่า (S)	1.1	1.0	0.9	0.9	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.1	9.6	93
ในน้ำชลประทาน (W_2)												
ก. ก่อนบำบัด	1.9	1.3	1.1	1.4	1.3	1.2	1.3	1.6	1.3	0.3	18.6	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	0.8	0.9	0.8	0.9	0.1	14.6	31
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	0.8	1.0	1.1	1.1	1.0	0.6	0.9	0.9	0.9	0.2	18.7	31
หญ้าอุบล พาสพาลัม (P_3)	0.6	0.9	0.8	1.1	0.9	0.7	0.8	0.9	0.8	0.2	20.1	38
ดินเปล่า (S)	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.1	12.0	38

ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่ามีค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ผันแปรอยู่ในพิสัย 0.7-1.1 0.6-1.1 0.6-1.1 และ 0.7-0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และส่วนใหญ่กระจายอยู่ในพิสัย 0.9$\pm$0.1 0.9$\pm$0.2 0.8$\pm$0.2 และ 0.8$\pm$0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า CV ร้อยละ 18.0 11.6 13.3 และ 9.6 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยสังเขปเฉลี่ยไม่สูงเท่ากับในน้ำเสียชุมชนแต่ก็ค่อนข้างสูงคือ 31 31 38 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดโดยสังเขปเฉลี่ยคือ 55 50 64 และ 47 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 14) ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชที่สูงมากเมื่อใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนและค่อนข้างสูงเมื่อใช้น้ำชลประทานนี้เป็นไปตามที่คาดหมายไว้ เพราะแอมโมเนียมไนโตรเจนไม่ว่าจะมาจากน้ำก่อนบำบัดหรือจากการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมโดยผู้ย่อยสลายประเภทที่หายใจได้โดยไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนก็ตาม เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของธาตุอาหารนี้และมีประจุบวกซึ่งจะถูกอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบดูดยึดไว้ได้ ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนหลังการบำบัดจึงลดลงมากเพราะถูกทั้งอนุภาคดินเหนียวของดินดูดยึดไว้และถูกรากพืชดูดเอาไปใช้ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไปเมื่อมีการวิเคราะห์ทางสถิติ การเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมในน้ำเสียชุมชนนี้คงจะเริ่มต้นด้วยการดูดซับแอมโมเนียมซึ่งมีอยู่แล้วในน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัดโดยอนุภาคดินเหนียวในดินในชั้นบนๆ เพราะน้ำที่ใส่ลงไป เพื่อให้เกิดการบำบัดจะแทรกซึมลงไปในดินผ่านทางช่องว่างขนาดใหญ่ .ในเวลาประมาณ 30 นาที ในรอบที่ 1 แล้วจึงแทรกซึมได้ช้าลงเป็นประมาณ 60 และ 180 นาทีในรอบที่ 2 และ 3 และจะคงที่ๆ 180 นาที นี้จนสิ้นสุดการทดลองใส่น้ำเมื่อรอบที่ 7 เพราะก้อนดินจะแตกออกจากกันเป็นอนุภาคปฐมภูมิหมดแล้วเมื่อรอบที่ 3 และที่น้ำแทรกซึมได้ภายใน 3 ชั่วโมงนี้ก็เพราะมีการผสมทรายลงไป 1 ใน 3 ของดินนา ซึ่งเป็นดินเหนียวที่ใช้ให้กลายเป็นดินร่วน NH_4^+-N ในน้ำก่อนการบำบัดจึงน่าจะถูกอนุภาคดินเหนียวในชั้นบนๆดูดยึดไว้ด้วยอนุภาคลบที่มีอยู่ ส่วน NH_4^+-N ที่เกิดจาก Ammonifiers น่าจะกระจายอยู่ทุกชั้นอย่างสม่ำเสมอในดินที่ใช้ปลูก เพราะอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำดิบไม่มีประจุก็จะแทรกซึมลงไปตามช่องว่างขนาดใหญ่ทางแนวดิ่งและแทรกซึมอย่างช้าๆไปในช่องว่างขนาดเล็กในแนวนอนจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำจึงหยุดการแทรกซึม อินทรีย์ไนโตรเจนในดินจะถูกเติมอยู่ตลอดเวลา 5 วันจากน้ำเหนือดินซึ่งท่วมอยู่ประมาณ10 เซนติเมตรในวันแรก เพราะน้ำในดินจะพร่องอยู่ตลอดเวลากลางวันเพราะพืชต้องมีการดูดน้ำเพื่อให้เกิดการคายน้ำที่ใบเพื่อลดอุณหภูมิของผิวใบ และเพื่อนำเอาไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์แสงและเพื่อเมตาบอลิซึมตลอดเวลา อินทรีย์ไนโตรเจนจะค่อยๆเกิดกระบวนการ Ammonification โดย Ammonifier อย่างช้าๆ Yonebayashi (1983) พบว่าอินทรีย์ไนโตรเจนในดินนาของญี่ปุ่นจะเกิด Ammonificationได้สูงสุดใน 4 สัปดาห์ที่ประมาณร้อยละ 8.53 โดยในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 จะเกิดได้ร้อยละ 5.33 7.46 และ8.29 ตามลำดับ NH_4-N ที่เกิดจาก Ammonification จะถูกอนุภาคดินเหนียวดูดซับเอาไว้ NH_4-N จากน้ำดิบจึงควรจะถูกดูดโดยรากที่แผ่กระจายออกไปทางแนวข้างก่อน ส่วน NH_4^+-N ที่เกิดจาก Ammonification ในดินจะถูกใช้ได้ก็ต่อเมื่อพืชมีพัฒนาการของระบบรากมาทางแนวลึกมากขึ้น และ NH_4-N ที่ถูก Mineralized ในดินนี้ก็จะสะสมมากขึ้นๆ เมื่อรอบของการให้น้ำมากขึ้น

และเมื่อนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 4 มาวิเคราะห์ทางสถิติแล้วนำเสนอสถิติที่สำคัญไว้ในตารางที่ 17 โดยตารางที่ 17ก นำเสนอค่า F-value จากการวิเคราะห์ความปรวนแปร ตารางที่ 17ข แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ได้รับอิทธิพลอิสระจากน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน และตารางที่ 17ค แสดงอิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ขณะที่ตารางที่ 17ง นำเสนออิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง ได้ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 17ก แสดงอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานต่อค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำที่ระบายออก ซึ่งพบว่าน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะในรอบที่ 2 ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำกับชนิดพืช พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในรอบที่ 6 เท่านั้น การไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทั้งอิทธิพลร่วมของทั้งแหล่งน้ำและของชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจัยทั้งสองในเกือบทุกรอบของอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง และทุกรอบสำหรับอิทธิพลอิสระของชนิดพืชที่มีต่อปริมาณแอมโมเนียมหลังการบำบัดนี้เกิดจากความปรวนแปรภายในทั้งของ Main plot(CV (a)) และ Sub plot (CV (b)) ซึ่งสูงว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปยกเว้นในรอบที่ 2 ซึ่งมี CV (a) 8.67 แต่ใน sub plot ทั้งอิทธิพลอิสระของชนิดพืชและอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง ซึ่งมี CV (b) 14.49 แต่ไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติและอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองในรอบที่ 6 ซึ่งแตกต่างระดับนัยสำคัญทั้งๆที่มี CV (b) ร้อยละ 15.05 นั้นอาจเกี่ยวข้องกับวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งใช้วิธีการเทียบสีเช่นเดียวกันกับประภาภรณ์(2543) ใช้ได้ผลดีมาแล้วมาใช้ แต่การวิจัยนี้มิได้มีการกรองตัวอย่างน้ำที่ระบายออกมาจากดิน ซึ่งอาจมีความขุ่นแตกต่างกันได้ไม่เหมือนกับวิธีการของประภาภรณ์(2543) ใช้วิธีการสกัดด้วยน้ำยาชนิดต่างๆแล้วมีการกรอง ความขุ่นที่แตกต่างกันน่าจะทำให้ค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อนไปได้ ประกอบกับความเข้มข้นในน้ำนั้นอยู่ที่ระดับต่ำมากเกือบเกินกำลังขยายของเครื่อง Spectrophotometer การคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย จึงส่งผลให้ร้อยละของความคลาดเคลื่อนสูงมาก อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนในระดับต่ำกว่ามิลลิกรัมต่อลิตรนี้ไม่ควรจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศใดๆได้ เพื่อให้เห็นทั้งอิทธิพลอิสระของชนิดน้ำและชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้อย่างชัดเจนว่า

ปริมาณเฉลี่ยของแอมโมเนียมหลังการบำบัดนั้น main plot และ sub plot ใดมากน้อยกว่ากันทางสถิติเพียงใดนั้นขอแยกนำเสนอคล้ายกับของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดดังนี้

ตารางที่ 17 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณแอมโมเนียม (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้ง

ก. ค่า F value MS error และ CV (%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	18.05^{NS}	49.00^{*}	0.92^{NS}	0.25^{NS}	10.56^{NS}	7.74^{NS}	6.37^{NS}
MS Error a	2	0.0554	0.0067	0.0650	0.0150	0.0379	0.0238	0.0317
CV (a)		25.56	8.67	27.32	11.90	17.77	18.04	18.90
Plant (P)	3	0.51^{NS}	1.04^{NS}	0.86^{NS}	3.15^{NS}	1.68^{NS}	3.12^{NS}	0.23^{NS}
W x P	3	0.88^{NS}	0.96^{NS}	0.33^{NS}	1.17^{NS}	0.89^{NS}	3.52^{*}	0.75^{NS}
MS Error b	12	0.0332	0.0186	0.0714	0.0297	0.0643	0.0165	0.0214
CV (b)		19.79	14.49	28.63	16.75	23.14	15.05	15.53

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียม

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	1.1^{a}	1.1^{a}	1.0^{a}	1.0^{a}	1.2^{a}	0.9^{a}	1.0^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	0.7^{a}	0.8^{b}	0.9^{a}	1.0^{a}	1.0^{a}	0.8^{a}	0.9^{a}

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียม

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.9^a	1.0^a	1.0^a	1.0^a	1.3^a	0.8^a	0.9^a
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.0^a	0.9^a	1.0^a	1.1^a	1.0^a	0.8^a	1.0^a
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1.0^a	1.0^a	0.9^a	1.2^a	1.1^a	0.9^a	1.0^a
ดินเปล่า (S)	1.0^a	0.9^a	0.8^a	1.0^a	1.0^a	1.0^a	0.9^a

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียม

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	2.8^a	1.2^a	1.1^a	0.8^b	1.5^a	0.8^b	1.0^a
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	2.0^b	1.0^{ab}	1.0^a	1.1^a	1.0^b	0.8^b	1.0^a
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	2.0^b	1.0^{ab}	0.9^a	1.2^a	1.3^a	1.0^a	1.1^a
ดินเปล่า (S)	2.6^a	1.0^{ab}	0.9^a	0.9^{ab}	1.1^{ab}	1.1^a	1.0^a
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	1.7^b	0.8^b	0.9^a	1.1^a	1.1^{ab}	0.9^{ab}	0.9^{ab}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.7^b	0.8^b	1.1^a	1.1^a	1.0^b	0.7^b	0.9^{ab}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1.2^c	0.9^b	0.8^a	1.1^a	0.9^b	0.7^b	0.8^b
ดินเปล่า (S)	1.9^b	0.8^b	0.7^a	0.9^{ab}	0.9^b	0.8^b	0.8^b

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 17ข แสดงอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชมและน้ำชลประทานต่อค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำภายหลังการบำบัด ซึ่งพบว่าในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนเหลือปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสูงกว่าในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานอย่างมีนัยสำคัญคือ 1.1^a กับ 0.8^b มิลลิกรัมต่อลิตร ในรอบที่ 2 ส่วนในรอบอื่นๆ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิตินั้นมีการกระจายอยู่

ในพิสัยแคบคือ 0.7–1.2 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น สำหรับในรอบอื่นๆ ก็เห็นแนวโน้มเดียวกันนี้แม้ไม่แตกต่างกันทางสถิติก็ตาม เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบของทั้ง 7 รอบมาศึกษาการกระจายแบบปกติพบว่าพิสัยของปริมาณแอมโมเนียมหลังการบำบัดในแปลงที่ใช้น้ำเสียและน้ำชลประทาน คือ 1.0 ± 0.1 และ 0.9 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าต่ำมากโดยมี CV ต่ำมาก คือ 9.4 และ 12.8% ตามลำดับ ซึ่งมีมีพิกัดล่างของ W_1 ครอบคลุมพิสัยส่วนใหญ่ของ W_2 ซึ่งไม่อาจพูดได้ชัดว่า $W_1>W_2$ ทั้งๆที่ในน้ำก่อนการบำบัดนั้นมีปริมาณแอมโมเนียมใน $W_1>W_2$ และมีโอกาสที่จะเกิดจากการ Mineralization ของ Organic N ใน $W_1>W_2$ อย่างชัดเจนก็ตาม การลดลงอย่างมากของปริมาณแอมโมเนียมหลังการบำบัดนี้น่าจะเกิดจากการถูกพืชดูดเอาไปใช้และโดยถูกอนุภาคดินเหนียวดูดยึดเอาไว้ดังได้กล่าวและจะได้พิจารณาให้ชัดเจนในตอนต่อไป การเหลือแอมโมเนียมในแปลงน้ำเสียชุมชน (1.0^a) มากกว่าในแปลงที่ใช้น้ำชลประทาน (0.8^b) นั้นน่าจะเกิดจากการไล่ที่ของแอมโมเนียมด้วย Fe^{++} และ Mn^{++} ที่เกิดมากขึ้นเพราะในน้ำเสียชุมชนมีตัวให้อิเล็กตรอน (คาร์โบไฮเดรต) มากกว่า active Fe และ Mn ซึ่งอยู่ในรูป Fe (III) และ Mn (IV) จึงถูก reduced ได้มากกว่า

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 17ค ชี้ให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า เมื่อเอาค่าเฉลี่ยในตารางที่ 17ค นี้ไปศึกษาการกระจายของข้อมูลแบบปกติ พบว่าในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนั้นส่วนใหญ่ มีการกระจายอยู่ในพิสัย 0.99 ± 0.16 0.97 ± 0.10 1.01 ± 0.11 และ 0.94 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี CV ค่อนข้างต่ำในแปลงพืชคือ 16.0 9.8 10.5 และต่ำ 8.3 ร้อยละ ตามลำดับ การมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของ S ต่ำกว่าของ P_1 P_2 และ P_3 นี้ไม่สามารถพูดได้ว่าต่ำกว่าแปลงที่มีพืชจริงๆ เพราะพิกัดบนของ S คือ 0.94 ± 0.08 หรือ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ภายในกรอบของพิสัยของ P_1 P_2 และ P_3 ดังนั้นการดูดดึงเอาแอมโมเนียมไปใช้สร้างการเจริญเติบโตของหญ้าทั้ง 3 ชนิดจึงไม่สามารถเอามาใช้อธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ แต่การบำบัดแอมโมเนียมทั้งที่มาจากน้ำก่อนการบำบัดและเกิดจากการ Mineralization ของ Organic N ทั้งใน W_1 และ W_2 ในแนวตั้งร่วมกับ Facultative Anaerobes นั้นเป็นไปได้แน่ เพราะเกิดจากการบำบัดในบ่อดินเปล่าไม่แตกต่างอย่างเด่นชัดกับบ่อที่มีพืช

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

จากความแตกต่างในปริมาณแอมโมเนียมหลังการบำบัดอันเกิดจากอิทธิพลร่วมของทั้งชนิดน้ำและชนิดพืชในรอบที่ 6 ในตารางที่ 17ก ทำให้เกิดความสนใจที่ค้นหารายละเอียดของความแตกต่างภายในแปลงตำรับย่อยในแต่ละตำรับหลักให้ชัดเจนโดยใช้ DMRT มาประเมินค่าเฉลี่ย พบว่าในรอบที่ 6 มีความแตกต่างอยู่ในบ่อที่ใช้น้ำเสียชุมชน (W_1) สามารถจัดอันดับความแตกต่างในพืช (P) ใน W_1 ได้คือ $S=P_3>P_1=P_2$ ส่วนบ่อที่ใช้น้ำชลประทาน (W_2) จัดอันดับความแตกต่างในพืช (P) ใน W_2 ได้คือ $S=P_1=P_2=P_3$ ความแตกต่างที่ได้กล่าวนี้เองที่ทำให้แนวโน้มของการเป็นเส้นขนานระหว่างชนิดน้ำของตำรับย่อยแต่ละตำรับนั้นเป็นไปไม่ได้ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าอิทธิพลร่วม แต่สาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ยังหาคำตอบไม่ได้ อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์นี้ก็มิได้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศใดๆ เพราะปริมาณแอมโมเนียมหลังการบำบัดแล้วนี้ต่ำมากจนไม่มีทางที่จะทำให้น้ำเน่าเสียได้

2.1.5 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำภายหลังการบำบัด

จากตารางที่ 18 สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียชุมชนภายหลังการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช โดยในแต่ละรอบ (7 วัน) จะให้น้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน เป็นเวลา 7 รอบ (สัปดาห์) ใช้หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่าเป็นตำรับทดลองย่อย จากตารางที่ 18 นี้จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในแต่ละรอบผันแปรอยู่ในพิสัย 0.2-0.3 0.3-0.4 0.2-0.4 และ0.2-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าศูนย์กลาง 0.3 0.3 0.3 และ 0.3 และมีค่าเฉลี่ย 0.3 0.3 0.3 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเท่ากันทุก subplots ดังนั้นจึงพูดได้เต็มปากว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำหลังการบำบัดสารอินทรีย์แล้วนี้มีการกระจายแบบปกติได้ โดยส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 0.3 ± 0.1 0.3 ± 0.1 0.3 ± 0.1 และ 0.3 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่า CV ร้อยละ 18.0 15.6 19.3 และ 18.0 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยสังเขปเฉลี่ยสูงมากคือมีค่าถึงร้อยละ 94 94 94 และ 94 ในแปลงหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และในดินเปล่า ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนเป็นที่พอใจมากนี้ต้องเกิดจากการดูดซับฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินแน่ เพราะอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำเสียน่าจะถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องใช้แก๊สออกซิเจนในการหายใจเอาไปใช้ในการสร้างเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอาไปเป็นฟอสโฟโปรตีนในนิวเคลียสและไม่น่าจะมีการขับถ่ายเป็นอนินทรีย์ฟอสเฟตออกมาได้

เพราะพลังงานที่ใช้สร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ฟอสเฟต (พลังงานศักย์) นั้นสูงมาก พลังงานที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้รับจากการหายใจโดยใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และใช้สารประกอบเฟอริค (FeIII) เช่น เฟอริคออกไซด์ และเฟอริคไฮดรอกไซด์ และแมงกานีส (Mn IV) เช่น แมงกานีสไดออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนน่าจะพอเพียงเพื่อใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมเท่านั้น (ประเสริฐ, 2540) อนุมูลโมโนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) ซึ่งอาจมีอยู่บ้างอาจถูกพืชที่ปลูกและสาหร่าย (ในดินเปล่า) เอาไปใช้ได้บ้างแต่คงจะน้อยมากเพราะไม่ควรจะมีปริมาณมากดังได้กล่าวแล้วในตอนคุณภาพน้ำเสียก่อนการบำบัด ส่วนฟอสฟอรัสที่น่าจะทำให้พืชเจริญเติบโตให้สมดุลกับปริมาณแอมโมเนียมในน้ำเสียนั้นจะได้กล่าวต่อไป

ตารางที่ 18 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid point	Mean	SD	CV (%)	Ap.eff (%)
	1	2	3	4	5	6	7					
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)												
ก. ก่อนบำบัด	4.8	5.5	6.6	4.3	5.2	4.4	5.1	4.6	5.1	0.8	15.2	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	18.0	94
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.1	15.6	94
หญ้าอุบล	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	19.3	94
พาสพาลัม (P_3)												
ดินเปล่า (S)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	18.0	94
ในน้ำชลประทาน (W_2)												
ก. ก่อนบำบัด	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.1	37.2	-
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วใน												
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	18.0	25
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	18.0	25
หญ้าอุบล	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	20.8	25
พาสพาลัม (P_3)												
ดินเปล่า (S)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	18.0	25

ส่วนการกระจายของค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดในแปลงปลูกหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่านั้น พบว่ามีค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดทุกรอบ (ตารางที่ 18) ผันแปรอยู่ในพิสัย 0.2-0.3 0.2-0.3 0.2-0.4 และ 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าศูนย์กลางและค่าเฉลี่ยเท่ากันหมดคือ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้สรุปได้ว่ามีการกระจายแบบปกติ ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในพิสัย 0.3$\pm$0.1 0.3$\pm$0.1 0.3$\pm$0.1 และ 0.3$\pm$0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า CV ร้อยละ 18.0 18.0 20.8 และ 18.0 และมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยสังเขปเฉลี่ยร้อยละ 25 ทั้งหมด การมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสโดยสังเขปในน้ำชลประทานต่ำกว่าในน้ำเสียชุมชนนี้น่าจะเป็นเพราะมีจำนวนจุลินทรีย์พวกไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนน้อยกว่าในน้ำเสียชุมชนมาก เนื่องจากขาดทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในน้ำก่อนการบำบัด การวิเคราะห์ปริมาณของฟอสฟอรัสที่มีปริมาณน้อยมาก (น้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อลิตร) นั้นมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้มาก เพราะทั้งความขุ่นและซิลิเกตสามารถทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ (Jackson, 1964)

เมื่อนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 5 มาวิเคราะห์ทางสถิติ ตามแผนการทดลองแบบ split plot design แล้วจึงได้เอาสถิติที่สำคัญมานำเสนอไว้ในตารางที่ 19 โดยตารางที่ 19 ก นำเสนอค่า F-value จากการวิเคราะห์ความปรวนแปร ตารางที่ 19ข นำเสนอค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 19ค นำเสนอค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช โดยใช้อักษร a, b และ c แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์ของ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เมื่อพบว่า F value ของอิทธิพลเหล่านั้นแตกต่างกันถึงระดับนัยสำคัญหรือถึงสำคัญยิ่ง ส่วนอิทธิพลร่วมนั้นนำเสนอในตารางที่ 19ง ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 19 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ก. ค่า F value MS error และ CV(%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	12.00^{NS}	9.14^{NS}	12.00^{NS}	16.00^{NS}	64.00*	1.92^{NS}	1.00^{NS}
MS error a	2	0.0012	0.0029	0.0012	0.0004	0.0004	0.0054	0.0017
CV (a)		12.48	22.35	10.88	6.45	6.12	24.20	14.00
Plant (P)	3	1.33^{NS}	8.50**	1.18^{NS}	2.05^{NS}	5.09*	1.36^{NS}	2.20^{NS}
W x P	3	2.00^{NS}	13.00**	1.18^{NS}	2.05^{NS}	5.09*	1.93^{NS}	2.20^{NS}
MS error b	12	0.0025	0.0011	0.0024	0.0060	0.0015	0.0019	0.0028
CV (b)		17.65	13.79	14.95	24.40	11.73	14.50	18.07

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	0.3^{a}	0.3^{a}	0.4^{a}	0.3^{a}	0.4^{a}	0.3^{a}	0.3^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	0.3^{a}	0.2^{a}	0.3^{a}	0.3^{a}	0.3^{b}	0.3^{a}	0.3^{a}

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.3[a]	0.2[b]	0.3[a]	0.3[a]	0.3[b]	0.3[a]	0.3[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	0.3[a]	0.3[a]	0.4[a]	0.3[a]	0.3[b]	0.3[a]	0.3[a]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	0.3[a]	0.2[b]	0.3[a]	0.3[a]	0.4[a]	0.3[a]	0.3[a]
ดินเปล่า (S)	0.3[a]	0.3[a]	0.4[a]	0.4[a]	0.4[a]	0.3[a]	0.3[a]

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.3[a]	0.2[c]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.2[b]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	0.3[a]	0.4[a]	0.4[a]	0.3[b]	0.4[a]	0.3[b]	0.3[a]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	0.3[a]	0.2[c]	0.3[b]	0.3[b]	0.4[a]	0.3[b]	0.3[a]
ดินเปล่า (S)	0.3[a]	0.3[b]	0.4[a]	0.5[a]	0.4[a]	0.4[a]	0.3[a]
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.2[b]	0.2[c]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	0.2[b]	0.2[c]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[a]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	0.3[a]	0.2[c]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.2[c]	0.3[a]
ดินเปล่า (S)	0.2[b]	0.2[c]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[b]	0.3[a]

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 19ก แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพียงในรอบที่ 5 เท่านั้น ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบที่ 2 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในรอบที่ 5 ส่วนอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนั้นพบว่ามีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบที่ 2 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในรอบที่ 5 และของตำรับย่อยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ความขุ่นและปริมาณซิลิเกตอาจมีส่วนทำให้เกิดความแปรปรวนภายใน main plots และ subplots โดยทำให้ค่า CV (a) และ CV (b) ค่อนข้างสูง (> ร้อยละ 10) และสูงมาก (>ร้อยละ 15) ยกเว้น CV (a) ในรอบที่ 4 ไปบดบังอิทธิพลอิสระและอิทธิพลร่วมในรอบต่างๆ ยกเว้นใน subplots ทั้งในอิทธิพลอิสระและอิทธิพลร่วมในรอบที่ 2 และ 5 ซึ่งแตกต่างกันในระดับนัยสำคัญยิ่งและนัยสำคัญ ทั้งๆ ที่มี CV (a) ร้อยละ 13.79 และ 11.73 ตามลำดับ ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไปเพื่อวิเคราะห์ให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนจึงแยกอธิบายอิทธิพลอิสระและอิทธิพลร่วมดังนี้

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 19ข แสดงให้เห็นว่า น้ำเสียชุมชนมีค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าน้ำชลประทานทางสถิติเฉพาะในรอบที่ 5 เท่านั้น (0.4^a และ 0.3^b มิลลิกรัมต่อลิตร) ทั้งนี้เพราะน้ำเสียชุมชนมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ฟอสเฟตอยู่มากกว่าน้ำชลประทานแม้ว่าจะถูก จุลินทรีย์ประเภทที่หายใจได้โดยไม่ต้องใช้แก๊ส ออกซิเจนดูดเอาไปใช้เพื่อการสร้างฟอสโฟโปรตีนแล้วแต่ก็ยังคงเหลืออยู่มากกว่าในน้ำชลประทานซึ่งควรจะขาดแคลนมากเกินไปจนเกือบจะวัดปริมาณที่แม่นยำไม่ได้ สำหรับในรอบอื่นๆ แม้ว่าความแตกต่างจะไม่ถึงระดับนัยสำคัญ เพราะมีความปรวนแปรภายในสูง (ค่า CV สูง) แต่ในทุกรอบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำชลประทานก็มีแนวโน้มต่ำกว่า เมื่อทดลองเอาค่าเฉลี่ยในทุกรอบในตารางที่ 19ข นี้มาศึกษาการกระจายแบบปกติพบว่าในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและใช้น้ำชลประทานอยู่ในพิสัย 0.33 ± 0.05 และ 0.29 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า CV (a) ร้อยละ 14.9 และ 13.2 ตามลำดับ แม้ค่าเฉลี่ยใน W_2 จะมีแนวโน้มน้อยกว่าพิกัดบนของฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นอยู่ในพิสัยส่วนใหญ่ของ W_1 ดังนั้นจึงสรุปไม่ได้ว่า $W_1 > W_2$ แต่สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยสังเขปของระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืชนี้สูงมากถึงประมาณร้อยละ 94 และค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 28 ใน W_1 และ W_2 เฉลี่ยตามลำดับ

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 19ค แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบที่ 2 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในรอบที่ 5 (ตารางที่ 19ก) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังการบำบัดอยู่ในอันดับ P_2 (0.3^a) = S (0.3^a) > P_1 (0.2^b) = P_3 (0.2^b) และ P_3 (0.4^a) = S (0.4^a) > P_1 (0.3^b) และ P_2 (0.3^b) ในรอบที่ 2 และ 5 ตามลำดับ ส่วนในรอบอื่นๆ ซึ่งๆม่แตกต่างกันทางสถิตินั้น subplots ทั้ง 4 ใกล้เคียงกันมากคือในพิสัย 0.3-0.3 0.3-0.4 0.3-0.4 0.3-0.3 และ 0.3-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรในรอบที่ 1 3 4 6 และ 7 ตามลำดับ เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยของทั้ง 7 รอบมาศึกษาการกระจายแบบปกติ พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 0.29 ± 0.04 0.31 ± 0.04 0.30 ± 0.06 และ 0.34 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า CV ร้อยละ 13.2 12.0 19.2 และ 15.6 สำหรับ P_1, P_2, P_3 และ S แม้จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มอยู่ในอันดับ S (0.34) > P_2 (0.31) $\approx$ P_3 (0.30) $\approx$ P_1 (0.29) แต่พิกัดล่างของ S (0.34-0.05 = 0.29) นั้นเท่ากับค่าเฉลี่ยของ P_1 พอดี ดังนั้นจึงสรุปไม่ได้ว่าความสามารถของพืชในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดนี้ดีกว่าดินเปล่า แต่สามารถสรุปได้ว่า vertical machinism ของ facultative anaerobes ของสารอินทรีย์ (BOD) เกี่ยวข้องกับการบำบัดและอย่างมีประสิทธิภาพสูงมากในพิสัยของค่าเฉลี่ยของ subplots ทั้ง 4 อยู่ระหว่างร้อยละ 87.6-89.5 (คำนวณจากค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดก่อนบำบัด = (5.1+0.4)/2 = 2.75 มิลลิกรัมต่อลิตร) การค้นพบนี้ยืนยันว่าฟอสฟอรัสในน้ำก่อนบำบัดจะถูกจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ต้องใช้แก๊สออกซิเจนเพื่อการหายใจดูดเอาไปใช้สร้างฟอสโฟโปรตีนในนิวเคลียสของมัน แล้วไม่ขับถ่าย อนินทรีย์ฟอสเฟตออกมา แต่ในแปลงที่มีพืชซึ่งเจริญเติบโตปกตินั้น พืชจะต้องมีการดูดใช้อนินทรีย์ฟอสเฟตแน่ อนินทรีย์ฟอสเฟตที่เข้าไปอยู่ในพืชนี้น่าจะเกิดจากการรีดักชันเป็นเฟอรัส-ฟอสเฟตของเฟอริคฟอสเฟต เพราะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนร่วมกับสารประกอบเฟอริค (FeIII) ทั้งเฟอริคออกไซด์และเฟอริคไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนหลักเพราะมีอยู่มากในเปลือกโลก (ไพบูลย์, 2528) และแมงกานีส (Mn IV) โดยเฉพาะแมงกานีสไดออกไซด์ เฟอรัสฟอสเฟตนี้ละลายน้ำได้มากกว่าเฟอริคฟอสเฟตมากและเป็นประโยชน์ต่อข้าวและพืชที่ทนน้ำท่วมได้ทั่วไป (Islam and Elahi, 1954; Shapiro, 1958; Chang and Chu, 1959; Davide, 1961; Tyner and Davide, 1962; Valencia, 1962; Ponnamperuma, 1965; Patrick and Mahapatra, 1968; Phongpan, 1977; ไพบูลย์, 2528 และ ทัศนีย์, 2543) เฟอริคฟอสเฟตเป็นอนินทรีย์ฟอสเฟตหลักในดินนาของประเทศไทย (Kawaguchi and Kyuma, 1969; Cholitkul and Tyner, 1971; and Phongpan, 1977) การทดลองนี้ได้ใช้ดินนาคล้ายดินชุดสมุทรปราการซึ่งเป็นดินเหนียวมาผสมกับทรายหยาบอัตรา 3:1 เพื่อปรับเนื้อดินให้เป็นดินร่วน (loam) เพื่อให้มีช่องว่าง

ขนาดใหญ่มากขึ้นจะได้ทำให้การซาบซึมน้ำที่จะใช้บำบัดได้เร็วขึ้นและถูกบำบัดด้วยระบบดินน้ำขัง (ดินแห้งสนิทมาก่อน) สลับกับระบายให้แห้งได้รวดเร็วขึ้น และมีพืชเพื่อขนย้ายสารอินทรีย์ที่ถูกบำบัดแล้วออกไปจากระบบดินไปทำให้พืชเจริญเติบโตและทำให้ระบบทำงานได้ตลอดไปด้วยการเก็บเกี่ยวเอาพืชนั้นๆ ไปใช้ประโยชน์ การทดลองนี้โดยเฉพาะในรอบบำบัดที่ 2 และ 5 ซึ่งพืชดูดใช้ฟอสเฟตจากการรีดักชันของเฟอริคฟอสเฟตทั้งในแปลงที่มีพืชและไม่มีพืช (ไพบูลย์, 2528 และทัศนีย์, 2543)

4) อิทธิพลร่วมของชนิดน้ำและชนิดพืช

ตารางที่ 19ง นำเสนออิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีการประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสใน 8 หน่วยทดลองย่อยในทุกรอบ เพื่อพิสูจน์ให้เห็นความแตกต่างของอิทธิพลร่วมที่ระดับนัยสำคัญขึ้นไปกับไม่ถึงระดับนัยสำคัญ ในรอบที่ 2 ซึ่งมีอิทธิพลระดับนัยสำคัญยิ่งนั้นอันดับของค่าเฉลี่ยใน W_1 และ W_2 นั้นแตกต่างกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือ อยู่ในอันดับ P_2 (0.4^a) > S (0.3^b) > P_1 (0.2^c) = P_3 (0.2^c) ใน W_1 และในอันดับ P_1 (0.2^c) = P_2 (0.2^c) = P_3 (0.2^c) = S (0.2^c) ในรอบที่ 5 ซึ่งมีอิทธิพลระดับนัยสำคัญนั้นก็พบความแตกต่างใน W_1 กับ W_2 กล่าวคือ ใน W_1 จะอยู่ในอันดับ P_2 (0.4^a) = P_3 (0.4^a) = S (0.4^a) > P_1 (0.3^b) ในขณะที่ใน W_2 นั้นอยู่ในอันดับ P_1 (0.3^a) = P_2 (0.3^b) = P_3 (0.3^b) = S (0.3^b) ส่วนในรอบอื่นๆ ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิตินั้นอันดับของค่าเฉลี่ยใน W_1 และ W_2 ไม่แตกต่างกันทางาถิติเลย การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังการบำบัดในรอบที่ 2 และ 5 ในบาง subplots ใน W_1 นั้นอาจมีเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ แต่ทางสิ่งแวดล้อมแล้วน้ำทิ้งเหล่านั้นไม่ควรส่งผลกระทบทางดินใดๆ กล่าวคือ ไม่ควรจะทำให้เกิดน้ำเน่า เพราะการ Blooming ของสาหร่ายหรือ Phytoplankton แล้วปราศจากผู้บริโภคมาใช้ประโยชน์ของ Producers เหล่านั้นเลยเกิด Eutrophication เพราะ Decomposser ในน้ำมาใช้ประโยชน์เมื่อ Producers เหล่านั้นตายลง เพราะวงจรชีวิตของ Producers เหล่านั้นสิ้นเลย เนื่องจาก (ก) ปริมาณฟอสฟอรัสต่ำมาก (น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรเสียอีก) (ข) ประเทศไทยเราอยู่ในเขตร้อนชื้น การจะมี Producers Consumers และ Decomposers สมดุลกันตลอดเวลาไม่เหมือนกับประเทศที่เจริญแล้ว ซึ่งล้วนมีอากาศหนาวเย็น ขาด Consumers ในช่วงต้นฤดูใบไม้ผลิมาใช้ประโยชน์จาก Producers ที่ Blooming ได้

2.2 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับคุณภาพน้ำภายหลังการบำบัด

ความสัมพันธ์นี้ถูกศึกษาขึ้นเพื่อประเมินความคงทนของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนนี้ โดยให้จำนวนรอบการทดลองเป็นตัวแปรอิสระ (X) ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำภายหลังการบำบัด ได้แก่ บีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ให้เป็นตัวแปรตาม (Y) โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากอิทธิพลอิสระของทั้งชนิดน้ำและชนิดพืชในตารางที่ 11 ข ค 13ข ค 15ข ค 17ข ค และ 19ข ค มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และนำเสนอค่า intercept ของแกนตั้ง (a) และ slope (b) ของสมการเชิงเส้นตรง $Y = a + bX$ ที่มีค่าสูงถึงระดับนัยสำคัญไว้ด้วย ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับค่าบีโอดี

ตารางที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลองต่อค่าบีโอดี โดยตารางที่ 20ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานต่อค่าบีโอดี พบว่าน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัด มีความสัมพันธ์ไปในทางลบแต่ยังห่างจากถึงระดับนัยสำคัญ ($r = -0.028^{NS}$ และ -0.531^{NS} ตามลำดับ) จึงไม่มีเหตุผลที่น่าเชื่อถือพอที่จะศึกษาสมการมาพยากรณ์ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีตลอดช่วงเวลาที่ทดลองระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชนี้ตลอดช่วง 7 สัปดาห์นี้ยังคงมีประสิทธิภาพสูงมากอยู่ กล่าวคือ การระบายน้ำออกทำให้เกิดการ Oxidize Fe (II) ให้เป็น Fe (III) ได้แล้วยังมีแกสออกซิเจนแทรกซึมตามช่องว่างดินที่แตกระแหงทำให้พวก Facultative Anaerobes ใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนซึ่งจะได้พลังงานมากกว่าการหายใจแบบไม่ใช้แกสออกซิเจนทำให้จุลินทรีย์ทำกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์บางส่วนได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อขังน้ำ Facultative Anaerobes จะใช้ $Fe(OH)_3$ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการหายใจเพื่อให้เกิดพลังงานย่อยสลายสารอินทรีย์ไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์เป็นผลให้สารอินทรีย์ลดน้อยลง ค่าบีโอดีจึงลดลงตลอดการทดลองทุกรอบ และมีแนวโน้มว่าจะดียิ่งขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นในแปลงน้ำเสียชุมชนซึ่งแสดงว่าตัวรับอิเล็คตรอนในดินยังไม่หมดและมีมากกว่าตัวให้อิเล็คตรอน และตัวให้อิเล็คตรอนและโปรตีนในน้ำมีแนวโน้มที่จะทำให้จำนวนของผู้ย่อยสลายเพิ่มขึ้นๆ จึงมีแนวโน้มที่จะสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นตัวให้อิเล็คตรอนแล้วถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หายไปจากระบบได้ดียิ่งขึ้นๆ

ตารางที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อค่าบีโอดี

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	BOD	=	-	-0.028^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	BOD	=	-	-0.531^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	BOD	=	-	-0.191^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	BOD	=	-	-0.592^{NS}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	BOD	=	-	0.076^{NS}
ดินเปล่า (S)	BOD	=	-	0.167^{NS}

ส่วนตารางที่ 20ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่า หญ้าหญ้าสตาร์กับหญ้าคาลล่าร์ มีความสัมพันธ์ไปในทางลบ แต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน มีค่าเท่ากับ -0.191^{NS} และ -0.592^{NS} ในขณะที่หญ้าอุบลพาสพาลัมและดินเปล่ามีความสัมพันธ์ไปในทางบวกแต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญยิ่ง มีค่า 0.076^{NS} และ 0.167^{NS} ตามลำดับ ความแตกต่างของความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าพันธุกรรมของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้อาจมีผลในการส่งเสริมการบำบัดบีโอดีหรือสารคาร์โบไฮเดรตได้นอกเหนือไปจากผลงานของจุลินทรีย์ดินที่ไม่ต้องการก๊าซออกซิเจนในการหายใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งในหญ้าอุบลพาสพาลัม ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทางบวก และไม่สมควรหาสมการเพราะไม่น่าเชื่อถือ

2.2.2 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลองต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยตารางที่ 21ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชน และน้ำชลประทานต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัดมีความสัมพันธ์ไปในทางลบ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ -0.709^{NS} และ -0.362^{NS} ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 12 ซึ่งพบว่าความเป็นด่างของทั้ง น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะลดลงจนใกล้เป็นกลาง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาของการบำบัดเพิ่มขึ้นจะมีประชากรของผู้ย่อยสลายในดินเพิ่มขึ้นๆ ทำให้น้ำตาลส่วนหนึ่งถูกนำมาใช้ในการสร้างกรดไพรูวิกในขบวนการไกลโคไลซีส กรดนี้น่าจะทำให้อนุมูลไฮดรอกซิล จากด่างกลายเป็นน้ำไปได้ส่วนหนึ่ง แต่จะไม่มีทางทำให้น้ำที่บำบัดแล้วเป็นกรด (พีเอชต่ำกว่า 7) ไปได้ เพราะในขบวนการรีดักชันนั้นจะต้องมีการใช้โปรตอนแล้วถูกเปลี่ยนเป็นน้ำไป โปรตอนจากกรดอินทรีย์น่าจะถูกใช้ก่อนโปรตอนในดิน (Ponnamperuma, 1965)

ตารางที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	pH	=	-	-0.709^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	pH	=	-	-0.362^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	pH	=	77.742 – 10.161Cycle	-0.808^{*}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	pH	=	-	-0.273^{NS}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	pH	=	-	-0.563^{NS}
ดินเปล่า (S)	pH	=	-	-0.381^{NS}

ส่วนตารางที่ 21ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่า มีความสัมพันธ์ไปในทางลบในระดับนัยสำคัญเพียงหญ้าสตาร์เท่านั้น คือให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ -0.808^{*} ส่วนหญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่านั้น มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ไปในทางลบแต่ไม่ถึงในระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่า -0.273^{NS} -0.563^{NS} และ -0.381^{NS} ตามลำดับ การลดลงของความเป็นด่างจนถึงระดับใกล้เป็นกลางในแปลงที่มีพืชนี้น่าจะเกิดจากการดูดซับอนุมูลบวกที่เป็นด่าง (basic cation:Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}) ออกไปจากดินและน้ำมากขึ้น จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง และเป็นไปได้ว่าบริเวณรากพืชมีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการใช้สารคาร์โบไฮเดรตไปด้วยแต่จากขบวนการไกลโคไลซีสโดยผู้ย่อยสลายชนิดที่ไม่ต้องการแกสออกซิเจนแต่ใช้ active Fe (III) และ Mn (IV) เป็นตัวรับอิเล็คตรอนภายในดินน่าจะมีอิทธิพลสูงกว่าการสูญเสียไอออนบวกที่เป็นด่างไปจากระบบดิน

2.2.3 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับไนโตรเจนทั้งหมด

ตารางที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลองต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด โดยตารางที่ 22ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปในทางบวกแต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ มีค่า 0.289^{NS} และ 0.740^{NS} ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณไนโตรเจนอาจถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมได้แต่มากเกินความต้องการของพืชจึงถูกระบายออกมากับน้ำภายหลังการบำบัดมากขึ้น แต่ปริมาณที่ถูกปล่อยออกมาก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ของกรมควบคุมมลพิษ (2539)

ตารางที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	TN	=	-	0.289^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	TN	=	-	0.740^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	TN	=	-	0.686^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	TN	=	-6.255+5.091Cycle	0.763*
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	TN	=	-	0.523^{NS}
ดินเปล่า (S)	TN	=	-	0.289^{NS}

ส่วนตารางที่ 22ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่า หญ้าสตาร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า มีความสัมพันธ์ทางบวก แต่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.686^{NS} 0.523^{NS} และ 0.289^{NS} ตามลำดับ ส่วนหญ้าคาลล่าร์นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปทางบวกถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.763^{*} เท่านั้น ดังนั้น จึงได้นำเสนอสมการพยากรณ์สำหรับบ่อที่ปลูกหญ้าคาลล่าร์ไว้ด้วย คือ T-N = -6.255+5.091Cycle จากสมการนี้จะเห็นอย่างน่าเชื่อถือได้ 95% ว่าเมื่อรอบของการบำบัดเพิ่มขึ้น TN ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดจะเพิ่มขึ้นด้วย และหากทดลองต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ แล้ว ก็อาจส่งผลทางลบต่อระบบนิเวศได้ ซึ่งควรจะได้วิจัยต่อไป สำหรับ P_1, P_2, P_3 และ S ซึ่งไม่ส่งผลเลย การค้นพบนี้แสดงว่าไนโตรเจนในน้ำเสียถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมและถูกพืชดูดเอาไปใช้เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบการทดลองเพิ่มขึ้น ส่วนในดินนั้นก็เกิดการดูดซับแอมโมเนียมที่เกิดขึ้นโดยประจุลบของอนุภาคดินเหนียวซึ่งก็เริ่มจะอิ่มตัวแล้วความสัมพันธ์จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.2.4 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับแอมโมเนียมไนโตรเจน

ตารางที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลอง ต่อค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนภายหลังการบำบัด โดยตารางที่ 23ก พบว่าทั้งน้ำเสียชุมชนมีความสัมพันธ์ในทางลบไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.474^{NS} ส่วนน้ำชลประทานมีความสัมพันธ์ในทางบวกแต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียง 0.121^{NS}

ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	NH_4-N	=	-	-0.474^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	NH_4-N	=	-	0.121^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	NH_4-N	=	-	0.231^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	NH_4-N	=	-	0.280^{NS}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	NH_4-N	=	-	0.000^{NS}
ดินเปล่า (S)	NH_4-N	=	-	0.000^{NS}

ส่วนตารางที่ 23ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าพบว่า หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า มีความสัมพันธ์ไปในทางบวก แต่ไม่ถึงในระดับนัยสำคัญ โดยทุกแปลงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.231^{NS} 0.280^{NS} 0.000^{NS} และ 0.000^{NS} ตามลำดับ แสดงว่าประสิทธิภาพของระบบยังดีอยู่และการมีพืชจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมได้ดีกว่าอย่างชัดเจน

2.2.5 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับฟอสฟอรัสทั้งหมด

ตารางที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลอง ต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยตารางที่ 24ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชน และน้ำชลประทานต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งพบว่าทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความสัมพันธ์ในทางบวก แต่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติในแปลงที่มีการใช้น้ำเสียชุมชน คือมีค่า 0.000^{NS} ส่วนในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานนั้นสูงไม่ถึงระดับนัยสำคัญคือมีค่า 0.408^{NS} การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังการบำบัดเมื่อระยะเวลาของการบำบัดเพิ่มขึ้นเฉพาะในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนนี้มีความเป็นไปได้ว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งโปรตีนธรรมดาและฟอสโฟโปรตีนจะถูกนำเอาไปใช้ในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อไปเป็นไซโตพลาสซึมและนิวเคลียสตามลำดับเพื่อให้เกิดการแบ่งเซลล์ทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ประเภทที่หายใจได้โดยไม่ต้องการก๊าซออกซิเจนโดยใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นตัวให้อิเลคตรอนและมี Active Fe(III) และ Mn(IV) เป็นตัวรับอิเลคตรอนดังได้กล่าวแล้ว สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ถูกจุลินทรีย์เอาไปใช้ไม่น่าจะถูกเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ฟอสเฟตได้เพราะต้องใช้พลังงานในการย่อยสลายสูง แต่อนินทรีย์ฟอสเฟตซึ่งพืชดูดไปใช้ได้นั้นน่าจะมาจากการใช้เฟอริกฟอสเฟตเป็นตัวรับอิเลคตรอน ร่วมกับสารประกอบเฟอริกอื่นๆให้กลายเป็นเฟอรัสฟอสเฟตซึ่งละลายน้ำได้ง่ายกว่ากันมากดังได้กล่าวแล้ว การขาดสารอาหารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำชลประทานน่าจะทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ยังไม่ถึงระดับสูงสุดแม้ว่าจะมีการสะสมสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์เมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นก็ตาม การมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้น้ำชลประทานนี้อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 16 ก็จะเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังการบำบัดนั้นต่ำมาก ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังการบำบัดในน้ำเสียชุมชนนี้จึงไม่น่าจะส่งผลกระทบใดๆ

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	TP	=	-	0.000^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	TP	=	-	0.408^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	TP	=	-	0.408^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	TP	=	-	-
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	TP	=	-	0.401^{NS}
ดินเปล่า (S)	TP	=	-	0.000^{NS}

ส่วนตารางที่ 24ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ซึ่งพบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสัมพันธ์ไปในทางบวกเช่นกัน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญยกเว้นในแปลงหญ้าคาลล่าร์ที่ไม่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสคือ มีค่า 0.409^{NS} 0.401^{NS} และ 0.000^{NS} ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระยะเวลานานขึ้นทำให้ความสามารถบำบัดฟอสฟอรัสลดลงซึ่งมีสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ถูกจุลินทรีย์เอาไปใช้สร้างเซลล์มากขึ้นเมื่อเวลาของการบำบัดเพิ่มขึ้นเท่านั้น การที่เกือบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแปลงที่มีดินเปล่ากับหญ้าคาลล่าร์ แสดงว่าระบบบำบัดนี้ควรจะใช้ได้ดีตลอดไปเมื่อมีหญ้าชนิดนี้และเมื่อไม่มีพืชเลย ซึ่งบ่งบอกว่าความสามารถในการบำบัดในอนาคต (หลายๆ รอบมากขึ้น) อาจไม่ค่อยดีนั้นก็ไม่น่าจะต้องวิตกมากนัก เพราะเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 18 ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ผ่านการบำบัดแล้วนั้นต่ำมาก คือต่ำกว่า 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่ควรจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดๆ

3. ประสิทธิภาพการบำบัดมลสาร

3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช

ในส่วนนี้เป็นการหาประสิทธิภาพการบำบัดมลสารของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในสภาพน้ำขังสลับแห้งของดินร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 พันธุ์ คือ หญ่าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า โดยมีระยะ เวลาขังน้ำ 5 วันสลับปล่อยตากแดดให้แห้งอีก 2 วัน โดยนำข้อมูลดิบของมลสารที่ต้องการ (ตารางผนวกที่ 1 ถึง 5) มาหาประสิทธิภาพของการบำบัด โดยเอาความเข้มข้นของค่าบีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดมาคูณกับปริมาตรน้ำที่ใส่ลงแปลงและปริมาตรน้ำที่ถูกระบายออกในแต่ละแปลงสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{\text{มวลมลสารเข้าแปลง} - \text{มวลมลสารออกจากแปลง}}{\text{มวลมลสารเข้าแปลง}} \times 100$$

ส่วนปริมาณน้ำที่ระบายออกจากแปลงสามารถคำนวณได้จากปริมาตรน้ำที่เหลืออยู่ในวันที่ 5 รวมกับน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ที่ได้จากการคาดคะเนจากร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณน้ำในดินจากสมการของ ไพบูลย์ (2528) กับความหนาแน่นรวมของดินที่ซึ่งคำนวณมาจากความหนาของดินผสมเฉลี่ยที่ 28 เซนติเมตรกับพื้นที่ฐานของแปลง 22/7 $(50)^2$ = 7,850 ตารางเซนติเมตร มารวมกันก็จะได้ปริมาตรน้ำที่ระบายออกจากแปลงในวันที่ 5 (ตารางที่ 25 และ 26) มาคูณกับความเข้มข้นมลสารของน้ำภายหลังการบำบัดก็จะได้มวลมลสารที่ออกจากแปลงซึ่งจะนำมาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดมลสารที่แท้จริงของระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ หญ่าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ไม่ต้องสงสัยเลยว่าน้ำที่ถูกระบายออกจากแปลงจะต้องน้อยกว่าน้ำที่ใส่ลงไปในแปลงอย่างแน่นอน เนื่องจากน้ำนั้นต้องหายไปจากระบบด้วย 3 กลไกคือ Evaporation Transpiration ของพืชและเข้าไปอยู่ในเซลล์ของพืช แม้ว่าพืชที่ใช้ในการศึกษาของอรทัย (2550) ซึ่งใช้พุทธรักษาเป็นพืชที่อวบน้ำมากกว่า แต่ก็มีเพียง 2 กอ/แปลง ในขณะที่การทดลองนี้ใช้หญ้าอาหารสัตว์ถึง 5 ต้น/แปลง ปริมาณน้ำในพืชทั้งหมดจึงไม่ควรจะต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงจะอนุโลมว่าน้ำที่ถูกระบายออกจากแปลงพุทธรักษาและแปลงโสนมีปริมาณเท่ากัน และจะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพต่อไปและสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 25 ปริมาตรน้ำเสียชุมชนที่ถูกระบายออกในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

รายการ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ก. น้ำที่ใช้ในแต่ละรอบ (140 ลิตรต่อแปลง)							
ข. น้ำในช่องว่างดินขนาดใหญ่ เท่ากับ 44.9 ลิตร							
ค. น้ำเหนือผิวดินที่เหลืออยู่ในวันที่ 5 (ลิตรต่อแปลง)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	46.6	32.1	39.1	38.3	36.8	45.8	39.8
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	45.8	39.2	38.8	37.3	42.1	42.2	40.9
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	47.8	37.7	40.9	38.5	44.7	49.0	43.1
ดินเปล่า (S)	42.5	41.3	41.3	41.1	36.7	39.4	40.4
ง. น้ำที่ระบายออกในวันที่ 5 (ข + ค) (ลิตรต่อแปลง)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	91.5	77.0	84.0	83.2	81.7	90.7	84.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	90.7	84.1	83.8	82.3	87.1	87.1	85.8
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	92.7	82.6	85.9	83.4	89.7	93.9	88.0
ดินเปล่า (S)	84.7	86.3	86.3	86.0	81.7	84.3	85.3

ตารางที่ 26 ปริมาตรน้ำชลประทานที่ถูกระบายออกในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

รายการ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ก. น้ำที่ใช้ในแต่ละรอบ (140 ลิตรต่อแปลง)							
ข. น้ำในช่องว่างดินขนาดใหญ่ เท่ากับ 44.9 ลิตร							
ค. น้ำเหนือผิวดินที่เหลืออยู่ในวันที่ 5 (ลิตรต่อแปลง)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	39.1	37.6	38.2	39.8	34.7	42.6	38.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	44.4	42.8	40.4	37.9	32.8	34.7	38.8
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	44.2	42.6	40.5	37.2	41.3	40.7	41.1
ดินเปล่า (S)	40.0	34.6	35.7	34.9	39.3	42.6	37.9
ง. น้ำที่ระบายออกในวันที่ 5 (ข + ค) (ลิตรต่อแปลง)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	84.0	82.5	83.2	84.7	79.6	87.6	83.6
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	89.3	87.7	85.3	82.9	77.7	79.7	83.8
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	89.1	87.5	85.4	82.1	86.2	85.7	86.0
ดินเปล่า (S)	84.9	79.6	80.6	79.8	84.3	87.5	82.9

3.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี

ตารางที่ 27 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ซึ่งพบว่าผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 89.0-96.2 86.4-97.3 87.8-95.6 และ 86.8-95.1 ตามลำดับ โดยมีค่าศูนย์กลาง 92.6 91.9 91.7 และ 91.0 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 92.8 92.3 92.7 และ 92.1 ตามลำดับ ดังนั้นพออนุโลมได้ว่ามีการกระจายแบบปกติได้ ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 92.8$\pm$2.8 92.3$\pm$4.8 92.7$\pm$3.1 และ 92.1$\pm$3.2 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV น้อยมากเพียงร้อยละ 3.0 4.7 3.3 และ 3.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 27) จากค่าเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าผลการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนเป็นผลงานของ Facultative Anaerobes เนื่อง จากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในแปลงที่ปลูกพืชกับแปลงดินเปล่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 10 ซึ่งมีประสิทธิภาพโดยสังเขปร้อยละ 90 89 90 และ 88 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดจริงนี้สูงกว่าโดยสังเขปร้อยละ 3.0 3.6 2.9 และ 4.6 (เมื่อใช้ประสิทธิภาพจริงเป็นฐานในการคำนวณตามลำดับ) เพราะปริมาตรน้ำออกนั้นจะต้องน้อยกว่าปริมาตรน้ำเข้าแน่ๆ เพราะ(ก) ต้อง

ถูกใช้ไปในขบวนการคายน้ำเพื่อการระบายความร้อนออกจาก ผิวใบ (ข) ต้องเข้าไปเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสง (ค) ต้องถูกใช้เป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งของโปรโตพลาสซึม และ(ง) ต้องระเหยไปจากผิวน้ำเพราะถูกแดดและลม

ตารางที่ 27 ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ในสภาพดินเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid Pont	Mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7				
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	89.9	89.0	94.4	91.9	96.2	95.3	93.7	92.6	92.8	2.8	3.0
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	86.5	86.4	93.5	92.9	97.3	96.2	93.5	91.9	92.3	4.3	4.7
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	89.4	87.8	95.6	93.6	95.0	94.5	93.7	91.7	92.7	3.1	3.3
ดินเปล่า (S)	88.9	86.8	94.9	92.2	94.5	95.1	92.4	91.0	92.1	3.2	3.5
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	83.7	92.6	84.2	88.9	92.9	84.7	87.9	88.2	87.8	3.9	4.4
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	81.3	90.2	81.3	92.2	94.5	88.7	88.6	87.9	88.1	5.1	5.8
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	73.0	90.2	87.7	84.6	92.3	92.2	86.8	82.7	86.7	6.7	7.7
ดินเปล่า (S)	88.1	94.1	90.0	84.3	94.0	92.0	90.8	89.2	90.5	3.5	3.8

ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำชลประทานที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 83.7-92.6 81.3.3-94.5 73.0-92.3 และ 84.3-94.1 ตามลำดับ โดยมีค่าศูนย์กลาง 88.2 87.9 82.7 และ 89.2 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 87.8 88.1 86.7 และ 90.5 ตามลำดับ ดังนั้นพออนุโลมได้ว่ามีการกระจายแบบปกติได้ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 87.8$\pm$3.9 88.1$\pm$ 5.1 86.7$\pm$6.7 และ 90.5$\pm$3.5 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV น้อย

เพียงร้อยละ 4.4 5.8 7.7 และ 3.8 ตามลำดับ (ตารางที่ 27) เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 8 ซึ่งมีประสิทธิภาพโดยสังเขปร้อยละ 80.0 80.0 79.0 และ 84.0 แล้ว จะเห็นได้ชัดเจนว่าประสิทธิภาพของการบำบัดที่แท้จริงนั้นเพิ่มขึ้น(เมื่อให้ประสิทธิภาพที่แท้จริงเป็นตัวเปรียบเทียบ)ถึงร้อยละ 8.9 9.2 8.9 และ 7.2 ตามลำดับ การบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำชลประทานก็ยังคงเป็นผลงานของ Facultative Anaerobes มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 90.5 และที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าในน้ำเสียชุมชนนี้น่าจะเนื่องจากจำนวนประชากรของผู้ย่อยสลายน้อยกว่าเพราะมีทั้งอาหารและตัวให้อิเล็คตรอนต่ำกว่า

เมื่อนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 6 มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญ ตามแผน การทดลองแบบ Split Plot Design และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดของพืชที่ใช้ในการทดลองด้วย Duncan Multiple Range Test: DMRT สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 28 ในตารางที่ 28ก นำเสนอเฉพาะค่า F ตารางที่ 28ข นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 28ค นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ส่วนอิทธิพลร่วมนำเสนอในตารางที่ 25ง ผลการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 28ก พบว่าอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในรอบที่ 4 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบที่ 1 2 3 5 6 และ 7 ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 1 2 3 4 และ 6 ส่วนรอบที่ 5 และ 7 นั้นแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญ สำหรับอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนั้น พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 1 2 3 4 6 และ 7 ส่วนในรอบที่ 5 นั้นพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น

ตารางที่ 28 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดบีโอดี

ก. F value MS error และ CV (%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	217.35**	904.36**	1,053.00**	35.60*	182.84**	419.36**	1,081.08**
MS Error a	2	1.31	0.12	0.44	6.02	0.25	0.68	0.14
CV (a)		1.35	0.39	0.73	2.74	0.53	0.90	0.41
Plant (P)	3	17.77**	8.19**	97.85**	10.11**	2.12^{NS}	16.61**	2.49^{NS}
W x P	3	19.88**	6.54**	45.97**	15.60**	4.04*	27.49**	11.19**
MS Error b	12	3.36	1.06	0.33	0.84	1.01	1.29	0.75
CV (b)		2.16	1.15	0.63	0.63	1.06	1.24	0.95

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	88.4^{a}	87.5^{b}	94.6^{a}	92.7^{a}	95.7^{a}	95.3^{a}	93.3^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	81.6^{b}	91.8^{a}	85.3^{b}	86.7^{b}	93.0^{b}	88.4^{b}	88.3^{b}

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	86.3^{b}	90.8^{a}	89.3^{b}	90.4^{a}	94.5^{a}	90.0^{b}	90.8^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	83.9^{c}	88.3^{b}	87.4^{c}	90.9^{a}	95.1^{a}	90.4^{b}	90.7^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	81.2^{d}	89.0^{b}	91.7^{a}	89.1^{b}	93.6^{a}	93.4^{a}	90.3^{a}
ดินเปล่า (S)	88.6^{a}	90.5^{a}	92.4^{a}	88.3^{b}	94.3^{a}	93.6^{a}	91.6^{a}

ตารางที่ 28 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยร่วมต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	88.9^{a}	89.0^{a}	94.4^{bc}	91.9^{a}	96.2^{ab}	95.3^{a}	93.7^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	86.5^{a}	86.4^{c}	93.5^{c}	92.9^{a}	97.3^{a}	96.2^{a}	93.5^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	89.4^{a}	87.8^{bc}	95.6^{a}	93.6^{a}	95.0^{bc}	94.5^{a}	93.7^{a}
ดินเปล่า (S)	88.9^{a}	86.8^{c}	94.9^{ab}	92.2^{a}	94.5^{bc}	95.1^{a}	92.4^{a}
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	83.7^{bc}	92.6^{a}	84.2^{f}	88.9^{b}	92.9^{d}	84.7^{c}	87.9^{c}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	81.3^{c}	90.2^{b}	81.3^{g}	88.9^{b}	92.9^{d}	84.7^{c}	87.9^{c}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	73.0^{d}	90.2^{b}	87.8^{e}	84.6^{c}	92.3^{d}	92.2^{b}	86.8^{c}
ดินเปล่า (S)	88.2^{a}	94.1^{a}	90.0^{d}	84.3^{c}	94.0^{bc}	92.0^{b}	90.8^{b}

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 28ข แสดงอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ซึ่งพบว่าแหล่งน้ำทั้งสองแหล่งส่งผลให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกรอบยกเว้นรอบที่ 4 ซึ่งอยู่ในระดับนัยสำคัญ โดยน้ำเสียชุมชนมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าในน้ำชลประทาน ยกเว้นรอบที่ 2 ที่น้ำชลประทานมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าน้ำเสียชุมชน กล่าวคือมีค่าร้อยละ 88.4^{a} กับ 81.6^{b} 87.5^{b} กับ 91.8^{a} 94.6^{a} กับ 85.3^{b} 95.7^{a} กับ 93.0^{b} 95.3^{a} กับ 88.4^{b} รอบที่ 1 2 3 5 6 และ 7 และ 93.3^{a} กับ 88.3^{b} ในรอบที่ 2 ตามลำดับ เมื่อทดลองเอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบรวมทั้ง 7 รอบ ในตารางที่ 28ข นี้มาศึกษาเพิ่มเติมพบว่าส่วนใหญ่จะอยู่ในพิสัยร้อยละ 92.5$\pm$3.2 และ 87.9$\pm$3.9 ซึ่งมีค่า CV ต่ำคือร้อยละ 3.2 และ 3.9 ในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ตามลำดับ การมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีน้ำเสียชุมชนที่สูงกว่าในการบำบัดน้ำชลประทานนี้เป็นเพราะน้ำเสียชุมชนมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์จากครัวเรือนในสัดส่วนที่สูงกว่าในน้ำชลประทาน จุลินทรีย์ดินประเภทที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนแต่ใช้ Active Fe(III) และ Mn(IV) ที่อยู่ในสภาพน้ำขังแทนแล้วใช้สารคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงาน ส่วนโปรตีนจะนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ เมื่อในน้ำ

เสียชุมชนมีแหล่งอาหาร และพลังงานมากกว่าในน้ำชลประทาน จุลินทรีย์จึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ได้มากกว่าในน้ำชลประทาน ซึ่งมีสารอินทรีย์น้อย และกลไกการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำชลประทานก็เหมือนกับในน้ำเสียชุมชน แต่เมื่อจุลินทรีย์มีแหล่งอาหาร และพลังงานที่น้อยกว่าการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์จึงน้อยตามไปด้วย ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนมีค่าสูงกว่าน้ำชลประทาน

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 28ค แสดงอิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซึ่งพบว่าพืชแต่ละชนิดส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 1 2 3 4 และ 6 เท่านั้น โดยอยู่ในอันดับ $S(88.6^{a})>P_1(86.3^{b})>P_2(83.6^{c})>P_3(81.2^{d})$ ในรอบที่ 1 ในอันดับ $P_1(90.8^{a})=S(90.5^{b})>P_3(89.0^{b})=P_2(88.3^{b})$ ในรอบที่ 2 ในอันดับ $S(92.4^{a})=P_3(91.7^{a})>P_1(89.3^{b})>P_2(87.4^{c})$ ในรอบที่ 3 ในอันดับ $P_2(90.9^{a})=P_1(90.4^{a})>P_3(89.1^{b})=S(88.3^{b})$ ในรอบที่ 4 ในอันดับ $S(93.6^{a})=P_3(93.4^{a})>P_2(90.4^{b})=P_1(90.0^{b})$ ในรอบที่ 6 ส่วนในรอบที่ 5 และ 7 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิตินั้นทุก Sub Plot ไม่แตกต่างกันคือ อยู่ในอันดับ $P_1 = P_2 = P_3 = S$ โดยมีพิสัยของประสิทธิภาพผันแปรแคบๆร้อยละ 93.6-95.1 ในรอบที่ 5 และมีพิสัยของประสิทธิภาพผันแปรแคบๆร้อยละ 90.3-91.6 ในรอบที่ 7 เท่านั้น เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่าดินเปล่ามีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงที่สุดในทุกรอบการทดลอง เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยในตารางที่ 28ก นี้มาศึกษาการกระจายของข้อมูลแบบปกติใน 7 รอบพบว่าในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้า คาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และในแปลงดินเปล่าส่วนใหญ่อยู่ในพิสัยร้อยละ 90.3 ± 2.4 89.6 ± 3.5 89.8 ± 4.2 และ 91.3 ± 2.3 โดยมีค่า CV เพียงร้อยละ 2.7 3.9 4.7 และ 2.5 ตามลำดับ จากพิสัยนี้จะเห็นได้ว่าการมีพืชด้วยมีค่าประสิทธิภาพ (เป็นตัวเลข) ต่ำกว่าการไม่มีพืชเลย แต่เมื่อพิจารณาจากพิสัยส่วนใหญ่แล้วไม่สามารถสรุปได้ว่า การมีพืชจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ต่ำลงได้ งานวิจัยนี้ยืนยันชัดเจนว่า Facultative Anaerobes ในดินคือผู้ย่อยสลายที่ทำหน้าที่บำบัดสารอินทรีย์ที่ปนอยู่ในน้ำ หญ้าอาหารสัตว์มิได้มีส่วนบำบัดสารอินทรีย์เลยไม่ว่าจะเป็นชนิดใดๆ

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับนัยสำคัญในรอบที่ 5 และมีความแตกต่างในทางสถิติในระดับอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 1 2 3 4 6 และ 7 (ตารางที่ 28ก) ของอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองด้วย DMRT หรือ LSR แสดงไว้ในตารางที่ 28ง ซึ่งพบความแตกต่างของ Pattern ของอันดับพืช (P) ใน W_1 และ W_2 คือ ในรอบที่ 1 $P_3 \geq S = P_1 \geq P_2$ ใน W_1 และ $S > P_1 > P_2 > P_3$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 2 $P_1 \geq P_3 > S > P_2$ ใน W_1 และ $S \geq P_1 > P_2 = P_3$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 3 $P_3 \geq S > P_1 \geq P_2$ ใน W_1 และ $S > P_3 > P_1 > P_2$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 4 $P_3 = P_2 = S = P_1$ ใน W_1 และ $P_1 = P_2 > P_3 = S$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 6 $P_2 \geq P_1 \geq S \geq P_3$ ใน W_1 และ $P_3 \geq S > P_1 = P_2$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 7 $P_1 = P_3 > P_2 \geq S$ ใน W_1 และ $S > P_1 = P_2 \geq P_3$ ใน W_2 ส่วนในรอบที่ 5 นั้นมีความแตกต่างกันในระดับนัยสำคัญเท่านั้นอยู่ในอันดับดังนี้คือ $P_2 \geq P_1 > P_3 \geq S$ ใน W_1 และ $S > P_1 \geq P_2 \geq P_3$ ใน W_2 จะเห็นได้ว่าในทุกรอบการทดลองใน W_1 และ W_2 ไม่มีความแตกต่างกันมากจะคล้ายคลึง ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่สูงมากของ Facultative Anaerobes ในดินคือผู้ย่อยสลายที่ทำหน้าที่บำบัดสารอินทรีย์ที่ปนอยู่ในน้ำ

3.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า เป็นรอบ รอบละ 7 วัน รวม 7 รอบหรือ 7 สัปดาห์ พบว่าผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 94.8-96.8 96.2-97.3 95.9-97.3 และ 95.3-96.4 ตามลำดับ โดยมีค่าศูนย์กลางร้อยละ 95.8 96.8 96.6 และ 96.0 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 96.2 96.8 96.4 และ 96.0 ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ามีการกระจายแบบปกติ ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัยร้อยละ 96.2 ± 0.7 96.8 ± 0.4 96.4 ± 0.5 และ 96.0 ± 0.5 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV น้อยมากเพียงร้อยละ 0.7 0.5 0.5 และ 0.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 29) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในตารางที่ 29 ประสิทธิภาพโดยสังเขปของธาตุนี้จากตารางที่ 14 ก็จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพที่แท้จริงจะต้องสูงกว่าประสิทธิภาพโดยสังเขป แต่ไม่มากนักคือสูงกว่าเพียงร้อยละ 2.2 1.9 2.5 และ 3.1 สำหรับแปลงหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่าตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าการคาดคะเนประสิทธิภาพโดยสังเขปจะใกล้เคียงกับประสิทธิภาพที่แท้จริงมาก หากประสิทธิภาพโดยสังเขปนั้นสูงกว่าร้อยละ 85 และน่าจะใช้แทนกันได้ เมื่อพิจารณา

จากค่าเฉลี่ยก็น่าจะบันทึกไว้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีร้อยละ 96 นี้เป็นที่น่าพอใจมากเพราะแสดงว่าสารอินทรีย์ไนโตรเจนน่าจะถูกผู้ย่อยสลายดูดเอาสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปใช้สร้างเซลล์และส่วนที่เป็นแอมโมเนียมอยู่ก่อนแล้วในน้ำดิบมีพิสัยส่วนใหญ่ 14.3$\pm$3.2 มิลลิกรัมต่อลิตรเหลือเป็นปริมาณสัมพัทธ์ในพิสัยส่วนใหญ่ร้อยละ 32.1$\pm$4.4 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่4) ก็จะถูกอนุภาคดินเหนียวในดินชั้นบนๆดูดยึดเอาไว้เพราะมีประจุลบ การกระจายตัวในอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำดิบในดินน่าจะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง กล่าวคือ อินทรีย์ไนโตรเจนควรจะกระจายทั่วทุกส่วนของดินทั้งในแนวดิ่งและแนวนอนเพราะไม่มีประจุ เมื่อใส่น้ำเสียลงไปในดินในวันที่ 1 ของแต่ละรอบ น้ำเสียก็จะแทรกซึมลงไปในดินในแนวดิ่งตามช่องว่างขนาดใหญ่โดยใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จึงอิ่มตัวและท่วมขัง ซึ่งน้ำเสียจะแทรกซึมไปในทุกส่วนของช่องว่างทั้งขนาดใหญ่และเล็ก อินทรีย์ไนโตรเจนจึงมีโอกาสสัมผัสกับอินทรีย์วัตถุซึ่งมีจุลินทรีย์ดินเกาะอยู่และสัมผัสกับอนุภาคดินเหนียว โดยที่สารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียนั้นมีจุลินทรีย์เกาะอยู่แล้วแต่ทำงานไม่ได้เพราะขาดตัวรับอิเล็คตรอน สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกน้ำย่อยโปรตีนของ Facultative Anaerobes ในดินซึ่งได้รับพลังงานมาจาก Anaerobic Respiration ดังได้กล่าวแล้วในตอนต้น แล้วแอมโมเนียมไนโตรเจนจะค่อยๆ ถูกปล่อยออกมาเนื่องจากเป็นของเสียของ Facultative Anaerobes ในเวลาต่อมา แล้วถูกดูดซึมไว้ในดินโดยอนุภาคดินเหนียวทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน ส่วนแอมโมเนียมในน้ำดิบนั้นจะถูกอนุภาคดินเหนียวในดินชั้นบนๆ ดูดซับไว้ เพราะมีประจุตรงกันข้ามกับดินเหนียว จึงควรจะถูกดูดซับได้ทันที สารอินทรีย์ไนโตรเจนที่เหลือในน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่ในดินและ NH_4-N ซึ่งถูกไล่ที่โดย Fe^{2+} และ Mn^{2+} ซึ่งเกิดจาก Reduction ของ Active Fe(III) และ Mn(IV) เป็น Fe(II) และ Fe^{2+} และ Mn(II) กับ Mn^{2+} ให้หลุดออกมาจากอนุภาคดินเหนียว ให้อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ และจะต้องระบายออกทิ้งไปในวันที่ 6 ของการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดที่จะต้องระบายออกนี้ไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทยดังที่อธิบายไว้แล้ว

ตารางที่ 29 ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่มกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid Pont	Mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7				
ก.ในน้ำเสียชุมชน (W_1)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	94.8	96.4	96.3	96.2	96.8	96.8	96.2	95.8	96.2	0.7	0.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	96.4	97.2	97.3	96.2	96.7	97.2	96.7	96.8	96.8	0.4	0.5
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	95.9	96.4	97.3	95.9	96.6	96.4	96.5	96.6	96.4	0.5	0.5
ดินเปล่า (S)	95.3	96.0	96.4	95.3	96.4	96.6	96.0	96.0	96.0	0.5	0.5
ข.ในน้ำชลประทาน (W_2)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	80.5	73.6	79.8	79.8	66.7	56.0	73.5	68.3	72.3	8.4	11.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	81.0	71.9	79.3	76.3	59.8	55.7	70.1	68.4	70.3	9.0	12.7
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	82.8	74.1	85.4	80.5	66.0	66.0	77.8	75.7	76.0	7.2	9.4
ดินเปล่า (S)	70.5	60.8	78.1	75.9	60.5	58.3	68.7	68.2	67.6	7.3	10.8

ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำชลประทานที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วันนี้ ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า พบว่าผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 56.0-80.5 55.7-81.0 66.0-85.4 และ 58.3-78.1 ตามลำดับ โดยมีค่าศูนย์กลาง 68.3 68.4 75.7 และ 68.2 และมีค่าเฉลี่ย 72.3 70.3 76.0 และ 67.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นพออนุโลมได้ว่ามีการกระจายแบบปกติได้ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 72.3$\pm$8.4 70.3$\pm$9.0 76.0$\pm$7.2 และ 67.6$\pm$7.3 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV ร้อยละ 11.7 12.7 9.4 และ 10.9 ตามลำดับ (ตารางที่ 27) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในตารางที่ 29 ประสิทธิภาพโดยสังเขปของธาตุนี้จากตารางที่ 12 ก็จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพที่แท้เพิ่มขึ้นสูงกว่าประสิทธิภาพโดยสังเขป สูงถึงร้อยละ 23.9 28.9 15.8 และ 30.5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยซึ่งอยู่ในพิสัยร้อยละ 67.6-76.0 ในน้ำ

ชลประทานนี้น่าพอใจเพราะหากข้อสันนิษฐานว่าสารอินทรีย์ไนโตรเจนนี้มาจากการตรึงแกสไนโตรเจนของ Blue Green Algae นั้น สามารถถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนและถูกทั้งอนุภาคดินเหนียวและพืชดูดเอาไว้เช่นเดียวกันกับในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชน ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าก็น่าจะเนื่องจากมีประชากรจุลินทรีย์น้อยกว่าเพราะมีสารอินทรีย์น้อยกว่าและควรจะมีสัดส่วนของน้ำตาลน้อยกว่า การหายใจจึงน้อยกว่าพลังงานที่จะใช้ทำกิจกรรมต่างๆ จึงควรจะน้อยกว่าด้วย การระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วลงไปแหล่งน้ำธรรมชาติเมื่อพิจารณาจากค่าไนโตรเจนทั้งหมดภายหลังการบำบัดนี้ไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในเขตร้อนอย่างประเทศไทยแต่อย่างใด

เมื่อนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 7 มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญตามแผนการทดลองแบบ Split Plot Design และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดของพืชด้วย Duncan Multiple Range Test (DMRT) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 30 โดยตารางที่ 30ก นำเสนอเฉพาะค่า F ตารางที่ 30ข นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 30ค เสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช และตารางที่ 30ง นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลร่วมจากปัจจัยทั้งสอง โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 30 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ก. F value MS error และ CV (%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	192.17**	40.38*	313.35**	110.93**	1,695.09**	518.42**	137.47**
MS Error a	2	8.89	103.17	4.87	17.09	3.93	16.51	24.79
CV (a)		3.42	12.19	2.47	4.75	2.48	5.22	5.90
Plant (P)	3	4.16*	5.32*	4.59*	3.01^{NS}	2.06^{NS}	1.83^{NS}	2.80^{NS}
W x P	3	3.52*	4.27*	2.86^{NS}	2.18^{NS}	1.95^{NS}	2.32^{NS}	2.64^{NS}
MS Error b	12	12.27	12.47	4.59	3.30	9.84	16.70	9.25
CV (b)		4.02	4.24	2.42	2.09	3.92	5.25	3.60

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	95.6^{a}	96.5^{a}	96.6^{a}	95.9^{a}	96.6^{a}	96.8^{a}	96.4^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	78.8^{b}	70.1^{b}	80.7^{b}	78.2^{b}	63.3^{b}	59.0^{b}	72.5^{b}

ตารางที่ 30 (ต่อ)

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	87.7[a]	85.0[a]	87.6[b]	88.0[a]	81.6[a]	76.4[a]	84.9[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	88.7[a]	84.6[a]	88.3[b]	86.3[a]	78.3[a]	76.5[a]	83.4[a]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	89.4[a]	85.3[a]	91.4[a]	88.2[a]	81.3[a]	81.2[a]	87.1[a]
ดินเปล่า (S)	82.9[b]	78.3[b]	87.3[b]	85.6[a]	78.5[a]	77.5[a]	82.3[a]

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	94.8[a]	96.4[a]	95.4[a]	96.2[a]	96.8[a]	96.8[a]	96.2[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	96.4[a]	97.2[a]	97.3[a]	96.2[a]	96.7[a]	97.2[a]	96.7[a]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	96.0[a]	96.4[a]	97.3[a]	96.0[a]	96.5[a]	96.4[a]	96.4[a]
ดินเปล่า (S)	95.3[a]	95.9[a]	96.4[a]	95.3[a]	96.4[a]	96.6[a]	96.0[a]
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	80.5[b]	73.6[b]	79.8[b]	79.8[b]	66.7[b]	56.0[b]	73.5[b]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	81.0[b]	71.9[b]	79.3[b]	76.3[b]	59.8[b]	55.7[b]	70.1[b]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	82.8[b]	74.1[b]	85.4[b]	80.5[b]	66.0[b]	66.0[b]	77.8[b]
ดินเปล่า (S)	70.5[c]	60.8[c]	78.0[b]	75.9[b]	60.5[b]	58.3[b]	68.7[b]

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 30ก ชี้ให้เห็นชัดเจนว่าอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในรอบที่ 2 และมีค่าความแตกต่างอย่ามีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 1 3 4 5 6 และ 7 ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ทำให้

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในรอบที่ 1 2 และ 3 นอกนั้นไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนั้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในรอบที่ 1 และ 2 เท่านั้น

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 30ข ชี้ให้เห็นชัดเจนว่าในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีการกระจายของค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบอยู่ในพิสัยร้อยละ 95.5-96.8 และ 59.0-80.7 โดยส่วนใหญ่กระจายอยู่ในพิสัย 96.3$\pm$0.4 และ 71.8$\pm$8.3 และมี CV ต่ำมาก (ร้อยละ0.5) และสูง (ร้อยละ 11.5) ตามลำดับ ประสิทธิภาพที่สูงกว่าของแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนนี้เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการเกิดกิจกรรมของ Facultative Anaerobes เพราะมีอาหารที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพที่ดีกว่าทั้งอาหารเพื่อการสร้างเซลล์และเพื่อการหายใจโดยใช้ Active Fe(III) และ Mn(IV) เป็นตัวรับอิเล็คตรอนแทนก๊าซออกซิเจน เป็นการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน แล้วแอมโมเนียมไอออนจะถูกดูดซับด้วยประจุลบของอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบและบางส่วนของแอมโมเนียมไอออนจะถูกรากพืชดูดเอาไปใช้ (แปลงที่มีพืช) เพิ่มขึ้นๆ เมื่ออายุพืชมากขึ้นๆ ด้วย ส่วนการมีประสิทธิภาพต่ำกว่าในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานนั้นน่าจะเนื่องจากขาดทั้งปริมาณและคุณภาพของสารอินทรีย์ในน้ำจนส่งผลให้ประชากรจุลินทรีย์ในดินน้อยกว่าอย่างเด่นชัดกิจกรรมทั้งหลายจึงน้อยกว่าตามไปด้วย

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 30ค ชี้ให้เห็นว่าเฉพาะในรอบที่ 1 2 และ 3 ซึ่งเกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้นที่ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม คือ ในรอบที่ 1 และรอบที่ 3 พบว่า หญ้าอุบลพลาสพาลัม หญ้าคาลล่าร์ และหญ้าสตาร์ อยู่ในกลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 89.4 กับ 91.4 86.7 กับ 88.3 87.7 และ 87.6 ตามลำดับ ส่วนดินเปล่าอยู่ในกลุ่มต่ำสุด b มีค่าเท่ากับร้อยละ 82.9 กับ 87.3 กลุ่มที่ 2 พบในรอบของการทดลองที่ 2 โดยพบว่าหญ้าอุบลพลาสพาลัม หญ้าสตาร์ และหญ้าคาลล่าร์ จัดอยู่ในกลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือร้อยละ 85.3 85.0 และ84.6 ตามลำดับ ส่วนดินเปล่าจัดอยู่ในกลุ่มต่ำสุด b มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับร้อยละ 78.3 ซึ่งจากผลการศึกษานี้พบว่า หญ้าอุบลพลาสพาลัมเพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดิมทุกรอบ คือเมื่อจัดกลุ่มแล้วจะอยู่ในกลุ่มสูงสุด a และอยู่ในอันดับสูงสุด ข้อมูลในรอบที่ 1 2

และ 3 นี้ชี้ให้เห็นว่าน่าจะมีการดูดใช้แอมโมเนียมซึ่งมีอยู่ก่อนแล้วในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานซึ่งมีอยู่ร้อยละ 28.8 26.5 และ 28.0 (ตารางที่ 4) และ 51.4 44.8 และ 22.0 (ตารางที่ 5) เป็นส่วนใหญ่แล้วเสริมด้วยการดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียวของดินด้วยในแปลงที่มีการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าอุบลพลาสพาลัม หญ้าสตาร์ และหญ้าคาลล่าร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน ส่วนในแปลงดินเปล่านั้นน่าจะไม่มีการดูดใช้แอมโมเนียมโดยพืชแต่แอมโมเนียมนั้นถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียวเท่านั้น และเมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบทั้ง 7 รอบ ในตารางที่ 28 ค นี้มาศึกษาการกระจายแบบปกติพบว่าในแปลงที่ใช้หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 พันธุ์ คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า มีประสิทธิภาพส่วนใหญ่อยู่ในพิสัยร้อยละ 84.5 ± 4.2 87.3 ± 4.7 86.3 ± 4.0 และ 81.8 ± 3.8 โดยมีค่า CV ร้อยละ 5.0 5.7 4.5 และ 4.7 ตามลำดับ ค่าของประสิทธิภาพที่ลดลงมาอยู่ระหว่างแปลงที่ใช้น้ำชลประทานกับน้ำเสียชุมชนนี้ก็สามารถอธิบายได้ทำนองเดียวกับการบำบัดบีโอดีที่กล่าวแล้ว จากการศึกษาโดยรวมนี้ทำให้กล่าวได้ว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีกว่าดินเปล่าเพราะพืชจะดูดใช้แอมโมเนียมที่เกิดจาก Ammonification ทั้งก่อนและในขณะอยู่ในดินในสภาพน้ำขังออกไปจากระบบดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังการบำบัดจึงต่ำกว่าก่อนการบำบัด

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับนัยสำคัญในรอบที่ 1 และ 2 (ตารางที่ 30ก) ของอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองด้วย DMRT หรือ LSR แสดงไว้ในตารางที่ 30ง จะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างกันในระดับนัยสำคัญในรอบที่ 1 และ 2 เท่านั้น โดยมีความแตกต่างของ Pattern ของอันดับพืช (P) ใน W_1 และ W_2 คือ ในรอบที่ 1 $P_2 \geq P_3 \geq S \geq P_1$ ใน W_1 และ $P_3 \geq P_2 \geq P_1 > S$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 2 $P_2 \geq P_1 = P_3 \geq S$ ใน W_1 และ $P_3 \geq P_1 > P_2 > S$ ใน W_2 ส่วนรอบที่เหลือในอันดับ W_1 และ W_2 ไม่ความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่มีอันดับที่คล้ายกันคือ อยู่ในอันดับ $P_2 \geq P_1 \geq P_1 \geq S$ ใน W_1 และ $P_3 \geq P_1 \geq P_2 \geq S$ ใน W_2 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของระบบนี้อย่างชัดเจน ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมที่พอจะได้รับจากการศึกษาเรื่องนี้ก็คือ ประสิทธิภาพที่สูงมากของ Facultative Anaerobes

3.1.3 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียม

จากตารางที่ 31 แสดงผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมในน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 93.3-97.6 93.4-97.4 92.6-96.4 และ 93.8-96.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 31 ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	รอบที่							Mid Pont	Mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7				
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	93.3	93.9	94.8	96.5	95.2	97.6	95.8	95.4	95.3	1.5	1.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	93.4	94.5	95.2	95.7	96.6	97.4	95.7	95.4	95.5	1.3	1.4
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	92.6	94.6	95.6	95.3	95.4	96.4	95.2	94.5	95.0	1.2	1.2
ดินเปล่า (S)	93.8	94.3	95.6	96.3	96.5	96.5	95.7	94.5	95.5	1.1	1.1
ข. ในน้ำเสียชุมชน (W_2)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	77.9	63.7	51.4	56.8	51.9	58.3	58.7	57.6	59.8	9.0	15.1
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	73.1	51.8	39.1	53.5	57.3	71.5	58.6	56.1	57.8	11.8	20.3
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	79.9	56.7	55.6	53.9	57.4	64.3	62.2	66.9	61.4	8.9	6.5
ดินเปล่า (S)	77.7	65.0	63.4	63.4	58.3	58.3	63.6	68.0	64.2	6.5	10.1

โดยมีค่าศูนย์กลางร้อยละ 95.4 95.4 94.5 และ 94.5 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 95.3 95.5 95.0 และ 95.5 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 16 ซึ่งค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดสูงถึงร้อยละ 93.0 93.0 92.0 และ 93.0 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่แท้จริงนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (เมื่อให้ประสิทธิภาพที่แท้จริงเป็นตัวเปรียบเทียบ) คือเท่ากับร้อยละ 2.4 2.6 3.6 และ 2.6 ตามลำดับ ดังนั้นพออนุโลมได้ว่ามีการกระจายแบบปกติ ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัยร้อยละ 95.3$\pm$1.5 95.5$\pm$1.3 95.0$\pm$1.2 และ 95.5$\pm$1.1 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV น้อยมากเพียงร้อยละ 1.5 1.4 1.2 และ 1.1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับพิสัยส่วนใหญ่ของประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และในดินเปล่า คือ ร้อยละ 96.2$\pm$0.7 96.8$\pm$0.4 96.4$\pm$0.5 และ 96.0$\pm$0.5 (ตารางที่ 27) แล้วจะเห็นได้ว่า

ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนนี้สูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะแอมโมเนียมเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ของไนโตรเจนสำหรับพืชจึงถูกพืชดูดเอาไปใช้ในขณะที่ไนโตรเจนทั้งหมดนั้นมีอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งพืชดูดใช้ไม่ได้อยู่ด้วย แอมโมเนียมไนโตรเจนที่ไม่ถูกบำบัดประมาณ 2 %นั้นน่าจะเกิดจากการ ไล่ที่โดย Fe^{++} ซึ่งควรจะเกิดขึ้นมากเพราะ Facultative Anaerobes สามารถทำกิจกรรมได้มากเนื่องจากมีอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในน้ำเสียชุมชนมาก

ตารางที่ 31 เช่นเดียวกันได้แสดงผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำชลประทานที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 51.4-63.7 39.1-73.1 53.9-79.9 และ 58.3-77.7 ตามลำดับ โดยมีค่าศูนย์กลาง 57.6 56.1 66.9 และ 68.0 และมีค่าเฉลี่ย 59.8 57.8 61.4 และ 64.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 14 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 31.0 31.0 38.0 และ 38.0 แล้วจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่แท้จริงนั้นเพิ่มขึ้นสูงกว่า(เมื่อให้ประสิทธิภาพที่แท้จริงเป็นตัวเปรียบเทียบ) คือสูงขึ้นถึงร้อยละ 48.2 46.4 38.1 และ 40.8 ตามลำดับ ดังนั้นพออนุโลมได้ว่ามีการกระจายแบบปกติได้ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 59.8$\pm$9.0 57.8$\pm$11.8 61.4$\pm$8.9 และ 64.2$\pm$6.5 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV ร้อยละ 15.1 20.3 6.5 และ 10.1 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงพืชทั้ง 3 ชนิด และดินเปล่า ในตารางที่ 27 (ร้อยละ 72.3$\pm$8.4 70.3$\pm$9.0 76.0$\pm$7.2 และ 67.6$\pm$7.3 ตามลำดับ) การนำเอาสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปใช้เป็นองค์ประกอบของตัวจุลินทรีย์แล้วเกิด Aammonification ในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานนี้ควรจะน้อยกว่าในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนมาก แต่สารอินทรีย์ในน้ำชลประทานนี้น่าจะมีปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เกิด Soil Reduction NH_4^+ ที่ถูกดูดซับส่วนหนึ่งจึงถูกไล่ที่โดย Fe^{++} ซึ่งมี Replacing Power สูงกว่าได้

เมื่อนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 8 มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญ ตามแผน การทดลองแบบ Split Plot Design และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดของพืชที่ใช้ในการทดลองด้วย Duncan Multiple Range Test (DMRT) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 32 โดยตารางที่ 32ก นำเสนอเฉพาะค่า F ตารางที่ 32ข นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการ

ทดลอง และตารางที่ 32ค นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช และตารางที่ 32ง นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ได้รับอิทธิพลร่วมจากปัจจัยทั้งสอง โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 32 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดปริมาณแอมโมเนียม

ก. F value MS error และ CV (%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	487.52**	519.13**	1,936.7**	1,509.7**	687.44**	4882.74**	3,901.7**
MS error a	2	3.21	14.20	5.70	6.06	13.75	1.41	1.87
CV (a)		2.10	4.91	3.23	3.22	4.87	1.48	1.75
Plant (P)	3	6.02**	7.41**	12.94**	23.03**	1.19^{NS}	26.53**	4.95*
W x P	3	8.46**	8.63**	12.32**	16.99**	0.62^{NS}	24.57**	6.10**
MS error b	12	1.75	7.25	12.25	1.60	14.84	2.33	1.73
CV (b)		1.55	3.50	4.74	1.65	5.06	1.91	1.63

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียม

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	93.3^{a}	94.3^{a}	95.3^{a}	96.0^{a}	95.9^{a}	89.6^{a}	95.6^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	77.1^{b}	59.3^{b}	52.4^{b}	56.9^{b}	56.2^{b}	63.1^{b}	60.8^{b}

ตารางที่ 32 (ต่อ)

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียม

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	85.6^{a}	78.8^{a}	73.1^{b}	76.7^{b}	73.6^{a}	77.9^{b}	77.3^{b}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	83.3^{b}	73.2^{b}	67.2^{c}	74.6^{c}	76.9^{a}	84.4^{a}	77.2^{b}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	86.3^{a}	75.7^{b}	75.2^{b}	74.6^{c}	76.4^{a}	65.6^{c}	78.7^{ab}
ดินเปล่า (S)	85.7^{a}	79.7^{a}	79.4^{a}	79.8^{a}	77.4^{a}	77.4^{b}	79.3^{a}

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียม

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5^{NS}	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	93.3^{a}	93.9^{a}	94.8^{a}	96.5^{a}	95.2^{a}	97.6^{a}	95.8^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	93.4^{a}	94.5^{a}	95.2^{a}	95.7^{a}	96.6^{a}	97.4^{a}	95.7^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	92.6^{a}	94.6^{a}	95.6^{a}	95.3^{a}	95.4^{a}	66.9^{c}	95.2^{a}
ดินเปล่า (S)	93.7^{a}	94.3^{a}	95.4^{a}	96.3^{a}	96.5^{a}	96.4^{a}	95.7^{a}
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	77.9^{b}	63.7^{b}	51.4^{c}	56.8^{c}	51.9^{b}	58.3^{d}	58.7^{c}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	73.1^{c}	51.8^{c}	39.1^{d}	53.5^{d}	57.3^{b}	71.5^{b}	58.6^{c}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	79.9^{b}	56.7^{c}	55.6^{c}	53.9^{d}	57.4^{b}	64.3^{c}	62.2^{b}
ดินเปล่า (S)	77.7^{b}	65.0^{b}	63.4^{b}	63.4^{b}	58.3^{b}	58.3^{d}	63.6^{b}

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 32ก พบว่าอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกรอบการทดลอง ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืชนั้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเฉพาะรอบที่ 1 2 3 4 และ 6 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในรอบการทดลองที่ 7 ส่วนอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง

สอง พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบการทดลองที่ 1 2 3 4 6 และ 7 ดังนั้นอิทธิพลร่วมนี้จึงจะได้มีการวิเคราะห์ด้วย DMRT เพิ่มเติม

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 32ข ชี้ให้เห็นชัดเจนว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนนั้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกว่าในแปลงที่ใช้น้ำชลประทาน ในทุกรอบการทดลอง แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างดีเยี่ยม เพราะสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนทำให้มีประชากรของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นมากในน้ำชลประทานและมากกว่าเกิด Ammonification ทั้งก่อนและหลังบำบัด แล้วถูกบำบัดทั้งโดยการดูดยึดด้วยอนุภาคดินเหนียวและโดยพืชในสัดส่วนที่มากกว่าแปลงที่ใช้น้ำชลประทาน เมื่อเอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบทั้ง 7 รอบในตารางที่ 32ข มาศึกษาการกระจายปกติ พบว่าในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและใช้น้ำชลประทานส่วนใหญ่อยู่ในพิสัยร้อยละ 94.2$\pm$2.2 และ 60.8$\pm$8.0 โดยมีค่า CV ต่ำมาก (เพียง 2.4%) และปานกลาง (13.1%) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดซึ่งอยู่ในพิสัยส่วนใหญ่ร้อยละ 96.3$\pm$0.4 และ 71.8$\pm$8.3 ซึ่งคำนวณได้จากในตารางที่ 28ข พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมนี้สูงกว่าและต่ำกว่าในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานตามลำดับ การมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนนี้น่าจะเนื่องจากอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์จนเต็มที่แล้วเลยถูกปลดปล่อยออกมาด้วยอัตราที่สูงกว่าซึ่งตรงกันข้ามกับในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานนั้นมีอินทรีย์ไนโตรเจนต่ำกว่ามากจึงถูกจุลินทรีย์นำเอาไปใช้ในอัตราที่มากกว่าแอมโมเนียมทั้งก่อนบำบัดและขณะมีการบำบัดจะถูกอนุภาคดินเหนียวดูดซับเอาไว้แล้วค่อยๆ ถูกรากพืชซึ่งพัฒนามากขึ้นๆ ดูดเอาไปใช้สร้างการเจริญเติบโตของพืช ส่วนแอมโมเนียมที่ดูดไม่ได้ประมาณร้อยละ 4 ในน้ำเสียชุมชนนี้น่าจะเกิดจากการไล่ที่ NH_4^+ ด้วย Fe^{++} ซึ่งจะต้องเกิดขึ้นมากเพราะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้มากดังกล่าวแล้ว NH_4^+ นี้น่าจะเป็นส่วนที่ถูกไล่ที่ลงสู่ส่วนล่างๆ ของดินที่รากพืชหยั่งลึกลงไปไม่ถึง

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 32ค ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืชนั้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเฉพาะรอบที่ 1 2 3 4 และ 6 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในรอบที่ 7 โดยในรอบที่ 1หญ้าอุบลพลาสพาลัม ดินเปล่า และหญ้าสตาร์ จัดอยู่ในกลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มี

ค่าเฉลี่ยร้อยละ 86.3 85.8 และ 85.6 ตามลำดับ ส่วนหญ้าคาลล่าร์จัดอยู่ในกลุ่ม b มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 83.3 ในรอบการทดลองที่ 2 แปลงดินเปล่า หญ้าสตาร์ และหญ้าอุบลพลาสพาลัม จัดอยู่ในกลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.8 78.0 และ 75.7 ตามลำดับ ส่วนคาลล่าร์ จัดอยู่ในกลุ่ม b มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 73.2 ในรอบการทดลองที่ 3 แปลงดินเปล่า หญ้าอุบลพลาสพาลัม และหญ้าสตาร์ จัดอยู่ในกลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.4 75.6 และ 73.1 ตามลำดับ ส่วนหญ้าคาลล่าร์ จัดอยู่ในกลุ่ม b มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดร้อยละเท่ากับ 67.2 ในรอบการทดลองที่ 4 แปลงดินเปล่า หญ้าสตาร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และหญ้าคาลล่าร์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันคือ กลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.8 76.7 74.6 และ 74.6 ตามลำดับ ในรอบการทดลองที่ 6 หญ้าคาลล่าร์ จัดอยู่ในอยู่ในกลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 84.4 ส่วนหญ้าสตาร์และหญ้าคาลล่าร์ จัดอยู่ในกลุ่ม b มีค่าเฉลี่ยปานกลางร้อยละ 77.9 และ 77.4 ส่วนแปลงหญ้าอุบลพลาสพาลัม จัดอยู่ในกลุ่ม c ต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 65.9 ส่วนในการทดลองรอบที่ 7 แปลงดินเปล่า หญ้าอุบลพลาสพาลัม และหญ้าสตาร์ จัดอยู่ในกลุ่ม a มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.6 78.7 และ 77.3 ตามลำดับ ส่วนคาลล่าร์ จัดอยู่ในกลุ่ม b มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 73.2 เมื่อเอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบทั้ง 7 รอบในตารางที่ 30ค นี้มาศึกษาเพิ่มเติมพบว่าในแปลงที่มีหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และในดินเปล่า ส่วนใหญ่อยู่ในพิสัยร้อยละ 77.6$\pm$4.1 76.7$\pm$5.9 76.1$\pm$6.1 และ 79.9$\pm$2.8 ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่างแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานดังได้กล่าวแล้วทั้งการบำบัดบีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมด โดยมี CV เพียง 5.3 7.7 8.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อมองทั้งระบบโดยรวมแล้วการใช้หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม มีแนวโน้มที่จะขนย้ายมลสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมแล้วออกไปจากระบบดินโดยการดูดใช้แอมโมเนียม (ซึ่งปนอยู่ในน้ำก่อนบำบัดและที่เกิดขึ้นในขณะบำบัด) เอาไปใช้สร้างความเจริญเติบโตให้กับพืช แต่ในแปลงดินเปล่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่าในแปลงที่พืชนั้นน่าจะเนื่องจากมีการไล่ที่ของ NH_4^+ โดย Fe^{++} ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาจาก Fe(II) ซึ่งเกิดจาก reduction ของ active Fe(III) ซึ่งได้กล่าวแล้วในตอนต้นๆ ในดินเปล่ามากกว่าเมื่อมีพืช เพราะเมื่อมีพืชพืชจะดูดเอา Fe^{++} ไปใช้ประโยชน์ด้วย

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ตารางที่ 32ง นำเสนออิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียม เพื่อพิสูจน์ให้เห็นความแตกต่างของอิทธิพลร่วมที่ระดับนัยสำคัญขึ้นไปกับไม่ถึงระดับนัยสำคัญ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบที่ 1 2 3 4 6 และ 7 ยกเว้นรอบที่ 5 กล่าวคือ ในรอบที่ 1 $S \geq P_2 \geq P_1 \geq P_3$ ใน W_1 และ $P_3 \geq P_1 \geq S > P_1$ใน W_2 สำหรับรอบที่ 2 $P_3 \geq P_2 \geq S \geq P_1$ใน W_1 และ $S \geq P_1 > P_3 > P_2$ใน W_2 สำหรับรอบที่ 3 $P_3 \geq S \geq P_2 \geq P_1$ ใน W_1 และ $S > P_3 \geq P_1 \geq P_2$ใน W_2 สำหรับรอบที่ 4 $P_1 \geq S \geq P_2 \geq P_3$ ใน W_1 และ $S > P_3 \geq P_2 \geq P_1$ใน W_2 สำหรับรอบที่ 6 $P_1 \geq P_2 > S \geq P_3$ใน W_1 และ $P_2 > P_3 \geq P_1 \geq S$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 7 $P_1 \geq P_2 \geq S \geq P_3$ ใน W_1 และ $S \geq P_3 > P_1 \geq P_2$ใน W_2 ส่วนในรอบที่ 5 นั้นไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีอันดับใน W_1 และ W_2 ดังนี้ $P_2 \geq S \geq P_3 \geq P_1$ ใน W_1 และ $S \geq P_3 \geq P_2 \geq P_1$ใน W_2 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าใน Subplots ของ W_2 จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ใน W_1 จะไม่แตกต่างกันเลย ยืนยันว่าแอมโมเนียมที่เกิดขึ้นในน้ำเสียชุมชนทั้งก่อนและขณะมีการบำบัดนั้น ส่วนใหญ่ถูกอนุภาคดินเหนียวดูดซับไว้ และถูกขนย้ายโดยหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดได้น้อย

3.1.4 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 99.0-95.6 97.2-95.6 97.9-95.1 และ 98.7-94.3 ตามลำดับ โดยมีค่าศูนย์กลาง 97.3 96.4 97.2 และ 96.3 และมีค่าเฉลี่ย 97.2 96.3 96.6 และ 96.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นพออนุโลมได้ว่ามีการกระจายแบบปกติได้ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัยร้อยละ 97.2$\pm$1.3 96.3$\pm$0.5 96.6$\pm$1.0 และ 96.2$\pm$1.3 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV น้อยมากเพียงร้อยละ 1.3 0.5 1.0 และ 1.4 ตามลำดับ (ตารางที่ 33) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในตารางที่ 33 กับตารางที่ 18 ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนสูงถึงร้อยละ 96.0 94.0 94.0 และ 94.0 แล้วจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่แท้จริงนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (เมื่อให้ประสิทธิภาพที่แท้จริงเป็นตัวเปรียบเทียบ) คือเท่ากับร้อยละ 1.2 2.3 2.6 และ 2.2 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนซึ่งให้ค่าพิสัยเฉลี่ยร้อยละ 96.2-97.2 ซึ่งเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง เพราะแสดงว่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสามารถถูกดูดออกไปจากน้ำเสียได้สูงมาก แต่หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3

ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ และหญ้าอุบลพลาสพาลัม ไม่น่าจะดูดใช้อินทรีย์ฟอสฟอรัสซึ่งควรจะเป็นองค์ประกอบหลักของฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียได้ เนื่องจากโมเลกุลของมันน่าจะใหญ่กว่ารูของ Root Membrane ซึ่งอนินทรีย์ฟอสเฟตไอออนเท่านั้นที่ควรจะซึมผ่าน Root Membrane เข้าไปได้ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนเหล่านี้น่าจะถูกนำเอาไปใช้สร้างฟอสโฟโปรตีนของจุลินทรีย์ในดินมากกว่าเพราะประสิทธิภาพในทุกแปลงย่อยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 33 ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์

ชนิดพืช	รอบที่ 1	2	3	4	5	6	7	Mid Pont	Mean	SD	CV (%)
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	95.9	98.0	97.3	95.9	96.6	95.6	97.6	97.3	96.8	0.9	0.9
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	96.0	95.6	96.4	95.9	96.4	97.2	96.4	96.0	95.9	0.7	0.7
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	95.9	97.9	97.2	97.2	95.1	95.4	96.3	96.3	96.2	0.9	1.0
ดินเปล่า (S)	97.5	97.8	97.2	95.7	96.6	95.9	96.4	96.6	96.7	0.7	0.8
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)											
หญ้าสตาร์ (P_1)	60.0	41.1	40.6	39.5	42.1	37.4	40.3	41.1	42.9	7.1	16.6
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	57.5	37.4	39.1	40.8	44.5	43.1	40.1	40.8	43.2	6.2	14.4
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	36.4	37.5	18.7	41.4	38.4	59.2	38.6	38.4	38.6	10.9	28.3
ดินเปล่า (S)	59.6	43.1	42.4	43.0	39.8	37.5	40.8	42.4	43.6	6.7	15.5

ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำชลประทานที่ผ่านการบำบัดในสภาพน้ำท่วมขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และดินเปล่า ผันแปรอยู่ในพิสัยร้อยละ 37.4-60.0 37.4-57.5 18.7-59.2 และ 37.5-59.6 ตามลำดับ โดยมีค่าศูนย์กลาง 41.1 40.8 38.4 และ 42.4 และมีค่าเฉลี่ย 42.9 43.2 38.6 และ 43.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นพออนุโลมได้ว่ามีการกระจายแบบปกติได้ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัยร้อยละ 42.9±7.1 43.2±6.2 38.6±10.9 และ 43.6±6.7 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า CV ค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 16.6 14.4 28.3 และ 15.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 33) เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 18 ซึ่งค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 25 25 25 และ 25 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพที่แท้จริงนั้นเพิ่มขึ้นมาก (เมื่อให้ประสิทธิภาพที่แท้จริงเป็นตัวเปรียบเทียบ) คือเท่ากับร้อยละ 41.7 42.1 34.9 และ 41.1 ตามลำดับ

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำชลประทานมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 38.6-43.6 ซึ่งต่ำกว่าในน้ำเสียชุมชน เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนมากกว่าหลายเท่าเพราะมีอาหารคือ ทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนมากกว่าจึงต้องการอินทรีย์ฟอสฟอรัสเพื่อเอาไปสร้างฟอสโฟโปรตีนได้มากกว่ามาก

เมื่อนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 9 มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญ ตามแผนการทดลองแบบ Split Plot Design และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดของพืชด้วย Duncan Multiple Range Test (DMRT) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 34 โดยตารางที่ 34ก นำเสนอเฉพาะค่า F ตารางที่ 34ข นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 34ค นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช และตารางที่ 34ง นำเสนอค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้รับอิทธิพลร่วมจากปัจจัยทั้งสอง โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การทดสอบความแตกต่าง

จากผลการวิเคราะห์ตารางที่ 34ก พบว่าอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกรอบการทดลอง ส่วนอิทธิพลอิสระของชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในรอบการทดลองที่ 1 2 3 และ 6

ตารางที่ 34 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อประสิทธิภาพ (ร้อยละ) การบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก. F value MS error และ CV (%)

SOV	df	รอบที่						
		1	2	3	4	5	6	7
Water (W)	1	22191**	2665.57**	27757**	10216**	17536**	981.53**	54689**
MS error a	2	0.42	7.45	0.83	1.78	1.02	16.37	0.35
CV (a)		0.94	3.98	1.38	1.94	1.47	5.77	0.87
Plant (P)	3	70.25**	24.01**	117.90**	0.77^{NS}	1.41^{NS}	9.22**	2.54^{NS}
W x P	3	63.34**	10.79**	121.75**	0.79^{NS}	0.76^{NS}	10.3**	1.43^{NS}
MS error b	12	2.91	0.80	1.51	5.02	11.69	16.57	0.97
CV (b)		2.28	1.31	1.88	3.26	4.97	5.80	1.44

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

แหล่งน้ำ	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
น้ำเสียชุมชน (W_1)	97.3^a	97.3^a	97.0^a	96.2^a	96.2^a	96.0^a	96.7^a
น้ำชลประทาน (W_2)	53.4^b	39.8^b	35.2^b	41.2^b	41.5^b	44.3^b	40.0^b

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
หญ้าสตาร์ (P_1)	78.0^a	69.6^a	69.0^{ab}	67.7^a	69.8^a	66.5^b	69.0^a
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	76.8^a	66.5^b	67.8^b	68.3^a	70.4^a	70.2^b	68.2^a
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	66.2^b	67.7^b	58.0^c	69.3^a	66.8^a	77.3^a	67.5^a
ดินเปล่า (S)	78.6^a	70.4^a	69.8^a	69.3^a	68.2^a	66.7^b	68.6^a

ตารางที่ 34 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยร่วมทั้งสองต่อประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

ชนิดพืช	รอบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ในน้ำเสียชุมชน (W_1)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	95.9[a]	98.0[a]	97.3[a]	95.9[a]	96.6[a]	95.6[a]	97.6[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	96.0[a]	95.6[a]	96.4[a]	95.9[a]	96.4[a]	97.2[a]	96.4[a]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	95.9[a]	97.9[a]	97.2[a]	97.2[a]	95.1[a]	95.4[a]	96.3[a]
ดินเปล่า (S)	97.5[a]	97.8[a]	97.2[a]	95.7[a]	96.6[a]	95.9[a]	96.4[a]
ในน้ำชลประทาน (W_2)							
หญ้าสตาร์ (P_1)	60.0[a]	41.1[b]	40.6[a]	39.5[b]	43.1[b]	37.4[b]	40.3[b]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	57.5[a]	37.4[c]	39.1[b]	40.8[b]	44.5[b]	43.1[b]	60.1[b]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	36.4[b]	37.5[c]	18.7[c]	41.4[b]	38.4[b]	59.2[a]	38.6[b]
ดินเปล่า (S)	59.6[a]	43.1[a]	42.4[a]	43.0[b]	39.8[b]	37.5[b]	40.8[b]

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 34ข ชี้ให้เห็นชัดเจนว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแปลงทดลองที่ใช้น้ำเสียชุมชนนั้นสูงกว่าในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกรอบการทดลอง เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบทั้ง 7 รอบในตารางที่ 34ข นี้ไปศึกษาการกระจายตัวแบบปกติพบว่าในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานส่วนใหญ่อยู่ในพิสัยร้อยละ 96.5$\pm$0.5 และ 42.2$\pm$5.6 โดยมีค่า CV ต่ำมาก (0.5%) และปานกลาง (13.4%) ตามลำดับการที่ในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าแปลงที่ใช้น้ำชลประทานนั้นน่าจะเป็นเพราะน้ำเสียมีฟอสฟอรัสทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรต (ค่าบีโอดี) ก่อนการบำบัดสูงกว่ามาก เมื่อน้ำเสียนี้แทรกซึมลงในดินก็จะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการใช้แก๊สออกซิเจนเพื่อการหายใจซึ่งพร้อมที่จะทำกิจกรรมเพราะก่อนการขังน้ำของระบบนี้มี Active Fe(III) และ Mn(IV) ในดินแห้งมาทำหน้าที่แทนแกสออกซิเจนเพื่อการหายใจในสภาพไร้อากาศได้ทำให้มีการเพิ่มประชากรอย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพในการบำบัดสารคาร์โบไฮเดรต (การบำบัดบีโอดี) และโปรตีนรวมทั้งแอมโมเนียมจึงสูงมากดังได้กล่าวแล้วในตอนต้นและทำให้ต้องการฟอสฟอรัสในจำนวนมากตามไปด้วย ฟอสฟอรัสทั้งหมดจึงหายไปจากน้ำที่ระบายออกสูงมากตามไปด้วย

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 34ก ชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลอิสระของชนิดพืชที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในรอบการทดลองที่ 1 2 3 และ 6 นั้น พบว่าในรอบที่ 1 ของการทดลองในแปลงที่มีดินเปล่า หญ้าสตาร์ และ หญ้าคาลล่าร์ อยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด คือ กลุ่ม a มีค่าเท่ากับร้อยละ 78.6^{a} 78.0^{a} และ 76.8^{a} ตามลำดับ ส่วนในแปลงหญ้าอุบลพลาสพาลัมมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำที่สุด คือ เฉลี่ยร้อยละ 66.2^{b} ในส่วนของรอบที่ 2 ของการทดลองพบว่า ในแปลงดินเปล่าและหญ้าสตาร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด คือร้อยละ 70.4^{a} กับ 69.6^{a} ตามลำดับ โดยแปลงหญ้าอุบลพลาสพาลัม และหญ้าคาลล่าร์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในกลุ่มต่ำสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 67.7^{b} กับ 66.5^{b} ส่วนในรอบที่ 3 ของการทดลอง พบว่าในแปลงดินเปล่า หญ้าสตาร์และหญ้าคาลล่าร์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด คือร้อยละ 69.8^{a} 69.0 และ 67.8^{a} ตามลำดับ โดยแปลงหญ้าอุบลพลาสพาลัม พบว่ามีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในกลุ่มต่ำสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 58.0^{b} ส่วนในรอบที่ 6 ของการทดลองนั้นแปลงหญ้าอุบลพลาสพาลัมและหญ้าคาลล่าร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด คือร้อยละ 77.3^{a} และ 70.2^{a} ตามลำดับ ในส่วนของแปลงหญ้าดินเปล่าและหญ้าสตาร์มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในกลุ่มต่ำสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 66.7^{b} และ 66.5^{b} ตามลำดับ เมื่อทดลองเอาค่าเฉลี่ยของแต่ละรอบรวมทั้ง 7 รอบในตารางที่ 32ค มาศึกษาการกระจายแบบปกติพบว่า ในแปลงที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพลาสพาลัม และในแปลงดินเปล่า ส่วนใหญ่มีพิสัยร้อยละ 69.9$\pm$3.7 69.7$\pm$3.4 67.5$\pm$5.7 และ 70.3$\pm$4.2 โดยมี CV ต่ำ คือเพียงร้อยละ 5.3 4.9 8.4 และ 6.0 ตามลำดับ การมีประสิทธิภาพสูงสุดในแปลงที่ไม่มีพืชเลยในรอบที่ 1 2 และ 3 และโดยรวมมิได้บ่งชี้ว่าไม่มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสไปจากน้ำเสียและน้ำชลประทานน้อยหรือดูดได้น้อยมาก เพราะฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้ได้นั้นจะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ ฟอสฟอรัสในน้ำควรจะถูกจุลินทรีย์ดินนำเอาไปใช้สร้างเซลล์และหายไปจากน้ำที่จะระบายออกโดยไม่น่าจะเกิด Mineralization ดังได้กล่าวแล้วตอนต้น การที่มีพืชแล้วเกิดการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำที่ใช้ทดลองซึ่งส่วนใหญ่ควรจะเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัสนี้ยังหาคำอธิบายไม่ได้และการที่พบความแตกต่างระหว่างชนิดของหญ้าอาหารสัตว์ในบางรอบนั้นอาจเกี่ยวข้องกับพันธุกรรมของพืช

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

จากตารางที่ 34ก แสดงถึงอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด แม้ว่าผลการวิเคราะห์ Analysis of Variance จะพบความแตกต่างทางสถิติระดับนัยสำคัญยิ่งเฉพาะในรอบที่ 1 2 3 และ 6 ส่วนในรอบอื่นๆ จะไม่ถึงระดับนัยสำคัญก็ตาม แต่เมื่อวิเคราะห์โดย DMRT หรือ LSR แล้วก็พบความแตกต่างกันในทุกรอบให้เห็นได้ จะพบว่าเกิดความแตกต่างของ Pattern ของอันดับชนิดพืช (P) ใน W_1 และ W_2 ในรอบที่ 1 2 3 และ 6 อย่างชัดเจน กล่าวคือ ในรอบที่ 1 $S \geq P_2 \geq P_1 \geq P_3$ ใน W_1 และ $P_1 \geq S \geq P_2 > P_3$ ใน W_2 สำหรับรอบที่ 2 $P_1 \geq P_3 \geq S \geq P_2$ ใน W_1 และ $S > P_3 > P_3 \geq P_2$ ใน W_2 ในรอบที่ 3 $P_1 \geq P_3 \geq S \geq P_2$ ใน W_1 และ $S \geq P_1 > P_2 > P_2$ ใน W_2 และในรอบที่ 6 $P_2 \geq S \geq P_1 \geq P_3$ ใน W_1 และ $P_3 > P_2 \geq S \geq P_3$ ใน W_2 ส่วนในทุกรอบที่เหลืออันดับใน W_1 และ W_2 คล้ายคลึงกันมาก กล่าวคืออยู่ในอันดับ $P_2 \geq P_1 = S \geq P_3$ เหมือนกัน

3.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์นี้ศึกษาขึ้นเพื่อประเมินความคงทนของประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนนี้โดยให้จำนวนรอบการทดลองเป็นตัวแปรอิสระ (X) ส่วนดัชนีประสิทธิภาพภายหลังการบำบัด ได้แก่ บีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ให้เป็นตัวแปรตาม (Y) โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากอิทธิพลอิสระของทั้งชนิดน้ำและชนิดพืชในตารางที่ 28 ข และ ค30 ข และ ค 32 ข และ ค และ 32 ข และ ค มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และนำเสนอค่า Intercept ของแกนตั้ง (a) และ Slope (b) ของสมการเชิงเส้นตรง $Y = a + bX$ ที่มีค่าสูงถึงระดับนัยสำคัญไว้ในตารางที่ 35 ถึงตารางที่ 38 ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี

ตารางที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลองต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี โดยตารางที่ 33ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี พบว่าน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานภายหลังการบำบัด มีความสัมพันธ์ไปในทางบวก แต่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ มีค่า

เท่ากับ 0.543^{NS} และ 0.175^{NS} ตามลำดับ แสดงว่าดินที่ใช้ในการทดลองนี้มี Active Fe(III) และ/หรือ Mn(IV) เหลือเฟือ แม้ว่าจะมีการสะสมสารอินทรีย์จากน้ำที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่รอบแรกและเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นๆ ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นโดยอาจยังไม่ตายตลอดช่วง 7 สัปดาห์จึงมีการใช้คาร์โบไฮเดรตเพื่อการหายใจมากขึ้นๆ กลายเป็นแกสคาร์บอนไดออกไซด์หายไปจากน้ำที่ใช้ทดลอง แต่การมีชีวิตอยู่ของจุลินทรีย์ตั้งแต่รอบแรกๆ และการใช้ Active Fe(III) ในดินและ Active Fe(III) ซึ่งเกิดขึ้นในวันที่ 6 และ 7 ขณะน้ำที่ถูกบำบัดถูกระบายออกแล้วจะหมดไปเมื่อใดซึ่งควรจะได้ศึกษาต่อไป

ส่วนตารางที่ 35ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ซึ่งพบว่าในแปลงหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า มีค่าความสัมพันธ์ทางบวกแต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 0.290^{NS} 0.512^{NS} 0.481^{NS} และ 0.322^{NS} ตามลำดับ การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อรอบของการบำบัดเพิ่มขึ้น ส่วนแปลงที่มีพืชก็ช่วยเสริมกลไกการบำบัดในแนวนอนโดย จะเป็นผลงานการบำบัดของพวก Aerobes ซึ่งมาเกาะและอาศัยใช้ O_2 ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรากของโสนแล้วได้สารอินทรีย์ต่างๆจากน้ำเสียซึ่งไหลมาหารากพืชตลอดเวลากลางวัน เพื่อให้พืชดูดเอาไปใช้ในขบวนการคายน้ำเพื่อระบายความร้อนออกไปจากผิวใบโดยใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นตัวให้อิเลกตรอนเพื่อการหายใจและใช้โปรตีนเพื่อการสร้างเซลล์ แต่พืชเข้ามามีส่วนช่วยในการบำบัดในแนวนอนได้เพียงประมาณร้อยละ 15 เท่านั้น แต่กลไกหลักในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้คือ Facultative Anaerobes

ตารางที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.543^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.175^{NS}

ตารางที่ 35 (ต่อ)

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.290^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.512^{NS}
หญ้าอุบลพลาสพาสัม (P_3)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.481^{NS}
ดินเปล่า (S)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.322^{NS}

3.2.2 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

ตารางที่ 36ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลองต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าไนโตรเจนทั้งหมด โดยตารางที่ 36ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าทั้งแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปในทางบวก แต่ไม่ถึงในระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.265^{NS} และ 0.298^{NS} ตามลำดับ แสดงว่าไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ต้องการแกสออกซิเจนเพื่อการหายใจตั้งแต่รอบแรก และใช้ไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นๆ แต่ไม่มาก เมื่อจำนวนรอบมากขึ้นๆ และยังไม่ตาย โดยใช้คาร์โบไฮเดรตซึ่งประเมินได้โดยค่าบีโอดีเป็นตัวให้อิเล็คตรอน และใช้ Active Fe(III) และ Mn(IV) เป็นตัวรับอิเล็คตรอนซึ่งมีมากเกินพอทำให้มีการบำบัดบีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงตามไปด้วย แต่จะสูงขึ้นนานกี่รอบคงจะขึ้นอยู่การมีชีวิตอยู่ของจุลินทรีย์และปริมาณสำรองของ Fe(III) จาก Active Fe(III) และจาก Oxidation หลังการระบายน้ำออกแล้วดังได้กล่าวแล้ว

ตารางที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าไนโตรเจนทั้งหมด

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.265^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.298^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.335^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.466^{NS}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.242^{NS}
ดินเปล่า (S)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.061^{NS}

ส่วนตารางที่ 36ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าในแปลงหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปในทิศทางบวก แต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ0.355^{NS} 0.466^{NS} 0.242^{NS} และ 0.061^{NS} ตามลำดับ การพบความสัมพันธ์ทางบวกแสดงว่ามีการสะสม ของจำนวนจุลินทรีย์ เพราะมีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในทุกรอบที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ เพราะในดินนี้มี Active Fe(III) อยู่มากเกินพอ

3.2.3 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจน

ตารางที่ 37ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลองต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน โดยตารางที่ 37ก พบว่าน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานมีค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ไปในทางบวก แต่มีค่าไม่ถึงในระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.004^{NS} และ 0.133^{NS} ตามลำดับ แสดงว่าแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนที่มีอยู่สูงก่อนการบำบัดและเมื่อแทรกซึมลงมาในดินแล้วจะถูกอนุภาคดินเหนียวดูดซับไว้ส่วนอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียก็จะค่อยๆ เกิด Ammonification แล้วอาจถูกจุลินทรีย์นำเอาไปใช้สร้างเซลล์แล้วระยะเวลาหนึ่ง แล้วจะถูกอนุภาคดินเหนียวดูดซับเอาไว้ด้วย แอมโมเนียมไนโตรเจนในดินนี้จะถูกพืชดูดซับได้มากขึ้นๆ ตามอายุของพืชที่มากขึ้นๆ แอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำที่ระบายออกจึงลดลงมากขึ้นๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นๆ ด้วยกลไกที่อธิบายไว้แล้วในเรื่องไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนในน้ำชลประทานระบบดินน้ำท่วมขังสลับแห้งในช่วง 7 รอบนี้ก็ยังคงมีประสิทธิภาพดีอยู่ แต่ไม่เพิ่มขึ้นเหมือนในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนก็เพราะมีสารอาหารสำหรับผู้ย่อยสลายน้อย กิจกรรมการเกิด Ammonification จึงไม่สะสมมากเหมือนในแปลงน้ำเสียชุมชน

ตารางที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจน

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.004^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.133^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.241^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.033^{NS}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.283^{NS}
ดินเปล่า (S)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.472^{NS}

ส่วนตารางที่ 37ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่า ในแปลงหญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า มีความสัมพันธ์ไปในทางบวก แต่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ คือ 0.241^{NS} 0.033^{NS} 0.283^{NS} และ 0.472^{NS} ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลามากขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากพืชมีความต้องการธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชสำหรับการเจริญเติบโต เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นพืชจึงต้องการธาตุไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจึงจำเป็นต้องมีพืชที่คอยดูดซับเอา NH_4^+ ออกไปจากระบบดิน การทดลองนี้พบว่าควรใช้หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 พันธุ์ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชนี้

3.2.4 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

ตารางที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่ใช้ในการทดลอง ต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยตารางที่ 38ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่าน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความสัมพันธ์ไปในทางบวก มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.462^{NS} และ 0.004^{NS} ตามลำดับ การพบความสัมพันธ์ทางบวก แต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญของประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดนี้ไม่น่าตกใจ เพราะปริมาณฟอสฟอรัสหลังการบำบัดเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นๆ นั้นส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 0.4 ± 0.2 และ 0.4 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 21ข) ซึ่งมีปริมาณน้อยมากไม่เกิน Carrying Capacity ของแหล่งน้ำธรรมชาติอยู่แล้ว

ตารางที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลองและชนิดพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ			สมการ	r
น้ำเสียชุมชน (W_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.462^{NS}
น้ำชลประทาน (W_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.004^{NS}

ข. อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ชนิดพืช			สมการ	r
หญ้าสตาร์ (P_1)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.466^{NS}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.060^{NS}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.336^{NS}
ดินเปล่า (S)	ประสิทธิภาพ	=	-	0.052^{NS}

ส่วนตารางที่ 38ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 พันธุ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสัมพันธ์ไปในทางบวก มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 0.466^{NS} 0.060^{NS} 0.336^{NS} และ 0.052^{NS} ตามลำดับ แสดงถึงแนวโน้มว่าความต้องการฟอสฟอรัสทั้งหมดจากน้ำที่ใช้ทดลองของผู้ย่อยสลายในตำรับย่อยทั้งสามนี้มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์ดินในตำรับย่อยเหล่านี้อาจใช้อนุมูลฟอสเฟตที่ถูกปลดปล่อยออกมาจาก Ferric Phosphate ซึ่งถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็คตรอนร่วมกับ Active Fe(III) อื่นๆ เกิดเป็น Ferrous Phosphate ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า Ferric Phosphate มาก ในกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ในสัดส่วนที่มากขึ้นกว่าในรอบแรกๆ และอนุมูลฟอสเฟตที่เกิดขึ้นในขบวนการ Reduction นี้เองที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช แนวโน้มของการลดลงของประสิทธิภาพในการบำบัดซึ่งบ่งบอกว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังการบำบัดด้วยระบบนี้สูงขึ้นไม่ควรจะส่งผลกระทบทางลบต่อระบบนิเวศน้ำผิวดินและใต้ดินเลยเพราะมีความเข้มข้นต่ำมากไม่เกิน Carrying Capacity ของแหล่งน้ำธรรมชาติ

4. การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

การเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของพืชอาหารสัตว์น่าจะเป็นดัชนีวัดผลผลิตของพืชอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ดีที่สุดเพราะสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ส่วนเหนือดินทุกส่วนของพืชอาหารสัตว์เป็นอาหารหยาบ (Roughages) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยและโปรตีนดิบ (Crude Proteins) เป็นแหล่งพลังงานและเป็นองค์ประกอบของ เซลล์ ตามลำดับ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นสัตว์สี่กระเพาะ ซึ่งในกระเพาะแรก (Rumen) จะมีจุลินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยนทั้งเยื่อใยและโปรตีนหยาบให้กลายเป็นโภชนะที่สัตว์สามารถดูดซึมเอาไปใช้ประโยชน์ได้ (ชวนิศนดากร, 2528) การเจริญเติบโตของพืชหลายเซลล์เกิดจากมีการสร้างเซลล์ให้มีความหลากหลายและมีการพัฒนาให้เกิดกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน (Tissues) ให้ กลายเป็นอวัยวะ (Organs) ของพืชประเภทต่างๆ เป็น ต้น ใบ ดอก ผล ฯลฯ เป็นต้น จนครบวงจรเป็นปกติได้ (สมบุญ, 2548) การเจริญเติบโตของพืชทุกชนิดจะถูกควบคุมโดยทั้งพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ ขนาดของต้น (ใหญ่หรือเล็ก) อายุจนครบวัฏจักรชีวิต (ล้มลุกข้ามปีหรือหลายปี) ลักษณะของลำต้น (เถาเลื้อยหรือตั้งตรง) ระบบของราก (รากแก้วหรือมีแต่รากฝอย) เป็นต้น ล้วนถูกควบคุมโดยพันธุกรรม ส่วนสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชนั้นก็มีอยู่สองกลุ่มใหญ่ๆ คือปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต (ปัจจัยทางบวก) ซึ่งยิ่งมีมากยิ่งดี กับปัจจัยที่ขัดขวางการเจริญเติบโต (ปัจจัยทางลบ) ซึ่งไม่มีเลยจะดีที่สุด ปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต ได้แก่ แสงสว่าง น้ำ (ในช่องว่างขนาดเล็กในดิน) อากาศ (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เพื่อขบวนการสังเคราะห์แสง และแกสออกซิเจนในช่องว่างขนาดใหญ่ในดิน เพื่อการหายใจของราก และในบรรยากาศเพื่อการหายใจของส่วนเหนือดินของพืช) ธาตุอาหารในดินอีก 13 ธาตุ ซึ่งพืช จะดูดใช้ได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย คือเป็นรูปของไอออน (ทุกธาตุ) และ/หรือในรูปของโลหะ คีเลต (จุลธาตุอาหารประจุบวก) ปัจจัยทางเคมีของดินที่ควบคุมให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปไอออนได้และที่ควบคุมกิจกรรมที่มีประโยชน์ของ จุลินทรีย์ดินและอุณหภูมิของดิน และส่วนเหนือดิน (เพื่อแยกพืชเมืองร้อนกับเมืองหนาว) เป็นต้น ส่วนปัจจัยทางลบนั้น ได้แก่ โรค แมลง และศัตรูพืชต่างๆ และภาวะมลพิษทางดิน เช่น ดินเป็นกรด-ด่างมากเกินไปหรือเค็มเกินไป (ไพบูลย์, 2549) ในกรณีของงานวิจัยนี้ ปัจจัยทางบวกที่ควรจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเลี้ยงสัตว์ที่ทนน้ำท่วม 5 วันได้ ควรจะมีเฉพาะธาตุอาหารพืชหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินและในน้ำเท่านั้น เพราะดินที่ใช้เป็นดินเหนียวที่ทำให้ร่วนด้วยทรายหยาบและอยู่ในเขตร้อนชื้นและทำการทดลองที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ซึ่งมีเจ้าหน้าที่ดูแลอย่างดี ซึ่งมีอุณหภูมิเหมาะสมตลอดทั้งปีและมีน้ำเหลือเฟืออยู่แล้ว

4.1 ความสูง

ความสูงของพืชเป็นดัชนีการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกกลางแจ้งที่เด่นชัดชนิดหนึ่ง เพราะพืชที่ได้รับปัจจัยทางบวกต่างๆ ซึ่งในที่นี้คือ น้ำและธาตุอาหารหลักที่ติดมากับน้ำเสียชุมชน ทั้งสารอินทรีย์ไนโตรเจนและอินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในดินที่มีน้ำท่วมขังนี้เปลี่ยนให้เป็นอนุมูลแอมโมเนียมและส่งเสริมให้เกิดอนุมูลฟอสเฟตในเวลาต่อมา ควรจะส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น โดยจะทำให้พืชอวบอ้วนและมีความสูงเพิ่มขึ้น เพราะมีการสร้างเซลล์ เนื้อเยื่อ และส่วนต่างๆของพืชได้มากขึ้น ความสูงของพืชนอกจากจะมาจากลักษณะทางพันธุกรรมของพืชแต่ละชนิดแล้ว พืชที่ปลูกในน้ำเสียชุมชนก็ควรจะมีความสูงมากกว่าพืชที่ปลูกในน้ำชลประทาน เนื่องจากหญ้าที่ปลูกในแปลงที่รดด้วยน้ำชลประทานแสดงการขาดไนโตรเจนอย่างชัดเจนตลอดช่วง 4 สัปดาห์แรก(รวมทั้งเพื่อลดความไม่ธรรมที่รากของหญ้าสตาร์จะมีโอกาสได้รับธาตุอาหารพืชจากดินและน้ำในบ่อทดลองได้น้อยกว่าหญ้าชนิดอื่นดังได้กล่าวแล้วในตอนต้นด้วย) จึงได้ตัดสินใจใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 9.63 กรัมต่อบ่อในทุกบ่อทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยวพืชชุดแรก(4 สัปดาห์)แล้ว ดังนั้นจึงขอแยกนำเสนอผลการทดลองที่เกี่ยวกับพืชนี้เป็น 2 ตอนคือเมื่อก่อนและหลังการใส่ปุ๋ยยูเรียออกจากกัน ดังผลการทดลองดังนี้

4.1.1 ก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย

ผลจากการวัดความสูงของหญ้าอาหารสัตว์ทั้งสามชนิดซึ่งได้รับอิทธิพลอิสระจากน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ที่มีการขังน้ำร้อยละ 5 วัน สลับกับการปล่อยให้แห้ง 2 วัน ตลอดช่วงการศึกษา 7 รอบ (ก่อนและหลังการการใส่ปุ๋ยยูเรียรวมกัน) นั้นมีข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 10 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญ แล้วได้นำเสนอผลการศึกษาไว้ในตารางที่ 39 โดยตารางที่ 39ก ได้นำเสนอค่า F-value จากการวิเคราะห์ความปรวนแปร ส่วนตารางที่ 39ข นำเสนอค่าเฉลี่ยความสูงของพืชซึ่งได้รับอิทธิพลอิสระจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง ส่วนตารางที่ 39ค เสนอค่าเฉลี่ยความสูงของพืชที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ส่วนตารางที่ 39ง นั้นเสนอค่าเฉลี่ยความสูงของพืชที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง สามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 39 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความสูง (เซนติเมตร) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ก่อนใส่ปุ๋ยยูเรีย

ก. ค่า F value MS error และ CV (ร้อยละ)

SOV	df	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)			
		1	2	3	4
Water(W)	1	0.21^{NS}	16.26^{NS}	20.14^{*}	225.77^{**}
MS Error a	2	8.68	0.81	4.13	0.79
CV(a)		8.14	1.94	3.69	1.42
Plant(P)	2	11.54^{**}	37.25^{**}	55.51^{**}	21.69^{**}
W x P	2	0.05^{NS}	0.39^{NS}	2.10^{NS}	0.56^{NS}
MS Error b	8	1.0	8.30	8.50	21.2
CV(b)		2.83	6.20	5.29	7.32

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตด้านความสูง

แหล่งน้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)			
	1	2	3	4
น้ำเสียชุมชน (W_1)	36.5^{a}	47.3^{a}	57.2^{a}	66.1^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	35.9^{a}	45.6^{a}	52.9^{b}	59.7^{b}

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยความสูงของพืช

ชนิดพืช	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)			
	1	2	3	4
หญ้าสตาร์ (P_1)	36.3^{a}	54.5^{a}	61.7^{a}	68.8^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	37.6^{a}	44.2^{b}	58.5^{a}	67.1^{a}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	34.7^{b}	40.6^{b}	45.0^{b}	52.9^{b}

ตารางที่ 39 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

อิทธิพลร่วม	อายุพืชหลังการทดลอง(สัปดาห์)			
	1	2	3	4
น้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	36.5^{ab}	55.9^{a}	65.7^{a}	73.0^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	37.9^{a}	45.3^{b}	60.3^{a}	70.8^{ac}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	35.1^{bc}	40.7^{b}	45.7^{c}	54.4^{c}
น้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	36.0^{a-c}	53.0^{a}	57.7^{b}	64.6^{b}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	37.2^{a}	43.1^{b}	56.8^{b}	63.4^{b}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	34.3^{c}	40.6^{b}	44.4^{c}	51.3^{c}

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 39ก พบว่าอิทธิพลอิสระของชนิดของน้ำที่ในการทดลองโดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้าอาหารสัตว์ส่งผลให้ความสูงของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 พันธุ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเฉพาะในสัปดาห์ที่ 4 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะในสัปดาห์ที่ 3 ส่วนสัปดาห์ที่ 1 และ 2 นั้นแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญ สำหรับอิทธิพลอิสระของชนิดพืชนั้นส่งผลให้ความสูงพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกรอบสัปดาห์ที่ที่ทำการทดลอง ส่วนอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนั้น พบว่ามีความแตกต่างไม่ถึงระดับนัยสำคัญในทุกสัปดาห์

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 39ข แสดงให้เห็นชัดเจนว่าน้ำเสียชุมชน (W_1) ส่งเสริมให้หญ้าอาหารสัตว์โดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้ามีการเจริญเติบโตดีกว่าหญ้าที่ปลูกในบ่อที่รดด้วยน้ำชลประทาน (W_2) อย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 4 กล่าวคือ ทำให้มีความสูงเฉลี่ย 66.1^{a} กับ 59.7^{b} เซนติเมตร สำหรับสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งแตกต่างกันในระดับนัยสำคัญ (ตารางที่ 39ก) นั้นน้ำเสียชุมชนก็ส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีกว่าน้ำชลประทานกล่าวคือ ทำให้ความสูงเฉลี่ย 57.2^{a} กับ 52.9^{b}

เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ซึ่งความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ นั้นมีความสูงเฉลี่ย 36.5 กับ 35.9 และ 47.3 กับ 45.6 เซนติเมตร ตามลำดับ การมีไนโตรเจนทั้งหมด มีแอมโมเนียมและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีก่อนการบำบัด (ตารางที่ 4) สูงกว่าในน้ำชลประทาน (ตารางที่ 5) กล่าวคือส่วนใหญ่อยู่ในพิสัย 44.5±4.5 กับ 3.6±0.9 14.3±3.2 กับ 1.3 ± 0.3 และ 5.1±0.8 กับ 0.3±0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นั้นส่งเสริมการเจริญเติบโตของหญ้าอาหารสัตว์โดยใช้ความสูงเป็นดัชนีสูงถึงระดับนัยสำคัญและนัยสำคัญยิ่ง เมื่อการทดลองครบ 3 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ แต่ไม่สามารถทำให้ความแตกต่างสูงถึงระดับนัยสำคัญได้เมื่อทดลองแล้ว 1 และ 2 สัปดาห์ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายได้จากการแทรกซึมและการดูดซับของทั้ง NH_4^+-N และ Organic N ซึ่งได้จากผลต่างของ TKN กับ NH_4^+-N ในน้ำก่อนใส่ลงไปในแต่ละบ่อ และ NH_4-N ที่ Mineralized มาจาก Organic N หลังจากใส่ลงไปในดินแล้วด้วย น้ำที่ใส่ในรอบแรกในทุกบ่อจะแทรกซึมลงไปในดินผสมจนอิ่มตัวและท่วมขังจนมีระดับน้ำสูงจากหน้าดินประมาณ 10 เซนติเมตรในเวลาเพียงประมาณ 30 นาทีเท่านั้น เพราะก้อนดินในแต่ละแปลงมีขนาดใหญ่ การกระจายตัวของ NH_4^+-N ซึ่งจะถูกอนุภาคดินเหนียวในดินดูดซับไว้เพราะมีประจุลบไปดูดซับจึงควรจะใกล้เคียงกัน เนื่องจากการดูดซับหลักควรจะเกิดหลังจากดินอิ่มตัวแล้ว เพราะ NH_4^+ กับประจุลบของอนุภาคดินเหนียวมีโอกาสสัมผัสกันนานกว่าการใส่ลงไปในในตอนแรกๆ เช่นเดียวกับ Organic N และ C ซึ่งควรจะกระจายอย่างสม่ำเสมอในดินทุกชั้น เพราะเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำและมีน้ำขังบนดิน แล้วสารอินทรีย์จึงจะถูกดินดูดซับเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียวด้วย H-bond และ bond อื่นๆ และทำให้ Anaerobes ได้ ใช้เป็นแหล่งอาหาร (แหล่ง Organic C ใน cell) และพลังงาน (ตัวให้อิเล็กตรอน) ดังได้กล่าวแล้วในตอนต้น ในรอบที่สองการแทรกซึมของน้ำจะช้ากว่าในรอบแรก โดยทำให้เกิดการอิ่มตัวและท่วมขังรักษาระดับที่ประมาณ 10 เซนติเมตรเหนือดิน เมื่อใส่น้ำครบ 140 ลิตร ในดิน 225 กิโลกรัมต่อบ่อนี้ภายในระยะเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง ทั้งนี้เพราะก้อนดินจะนิ่มลงๆ และแตกออกเป็นอนุภาคปฐมภูมิตลอดเวลา 5 วันของการขังน้ำในรอบแรกได้มากขึ้นอาจมากกว่า 50% แต่คงไม่เกิน 75% NH_4-N จากน้ำที่ใส่และแทรกซึมไปทางด้านข้างเข้าไปในช่องว่างขนาดเล็กด้วย Capillary force จึงควรมีโอกาสถูกอนุภาคดินเหนียวของดินชั้นบนดูดซับเอาไว้ด้วยแรงต่างประจุเพราะช่องว่างขนาดใหญ่จะกลายเป็นช่องว่างขนาดเล็ก คาดว่าในรอบที่สองนี้ NH_4-N ในน้ำเสียชุมชนเฉลี่ย 14.3 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 14.3x140 = 2002 มิลลิกรัม หรือ 143 Milliequivalence ต่อบ่อ(จาก 2002/14)นี้เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนประจุลบของอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีอยู่ในดินผสมประมาณ 20% นี้ประมาณ 9.64 me/100 g soil (คาดคะเนจากสมการ CEC = 2.3 + 0.3669% clay, ไพบูลย์, 2528) หรือ 21,690 me/225 กก.ต่อบ่อ ซึ่งมีดินผสมลึก 30 เซนิเมตร หรือจะกระจายประมาณ 7,230, 7,230 และ 7,230 Milliequivalence ใน 10 เซนติเมตร ที่ 1, 2 และ 3 จากผิว

ดินตามลำดับ คาดว่า NH_4^+-N จากน้ำที่ใส่ไปในรอบที่ 2 นี้ น่าจะถูก Clay ในดิน 20 เซนติเมตร แรกดูดซับได้หมดในช่วง 1 ชั่วโมงของการใส่น้ำ ส่วนสารอินทรีย์นั้นคงจะกระจายสม่ำเสมอตลอดชั้นความลึกของดินในแต่ละบ่อ เพราะน่าจะถูกดูดซับหลังจากการขังน้ำถึงระดับสมดุลย์แล้ว ในรอบที่สามเป็นต้นไปอัตราการแทรกซึมของน้ำจนครบ 140 ลิตร และมีน้ำท่วมขัง 10 เซนติเมตร สมดุลย์แล้ว โดยใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง เพราะก้อนดินและอนุภาคทุติยภูมิของดิน ควรถูกทำลายหมดและผสมคลุกเคล้าอย่างสม่ำเสมอกับอนุภาคทรายหยาบที่ผสมลงไป 1:3 อย่างดีสมบูรณ์แล้ว จึงเป็นไปได้ที่ NH_4^+-N ในน้ำจะถูก Clay ใน 10 เซนติเมตร แรกดูดซับไว้หมด เพราะอาจมีประจุลบอยู่สูงถึง 7230 Milliequivalence เมื่อเทียบกับ NH_4^+-N เพียง 143 Milliequivalence เพื่ออธิบายให้เห็นเป็นรูปธรรมจึงขอนำเสนอตารางที่ 40 ซึ่งนำเอาข้อมูลดิบในตารางที่ 12 และ 14 มาคำนวณหาผลต่างของไนโตรเจน รูปต่างๆของน้ำเสียชุมชนซึ่งสูงกว่าน้ำชลประทานอย่างชัดเจนมาประกอบคำอธิบาย

ตารางที่ 40 ผลต่างของปริมาณไนโตรเจนรูปต่างๆ จากน้ำเสียชุมชนซึ่งสูงกว่าจากน้ำชลประทานอย่างชัดเจนเมื่อใส่บ่อละ 140 ลิตร และใช้ดินบ่อละ 225 กิโลกรัม

รูปของไนโตรเจน	แหล่งที่มา	หน่วย	รอบที่			
			1	2	3	4
ทั้งหมด	น้ำเสียชุมชน	มก./ล.	37.4	41.1	45.0	43.4
	น้ำชลประทาน	มก./ล.	3.7	2.9	5.0	4.5
	ผลต่าง	มก./ล.	33.7	38.2	40.0	38.9
		มก./บ่อ	4,718	5,348	5,600	5,446
แอมโมเนียม	น้ำเสียชุมชน	มก./ล.	10.8	10.9	12.6	15.1
	น้ำชลประทาน	มก./ล.	1.9	1.3	1.1	1.4
	ผลต่าง	มก./ล.	8.9	9.6	11.5	13.7
		มก./บ่อ	1,246	1,344	1,610	1,918
	ผลต่างสะสม	มก./บ่อ	1,246	2,590	6,580	10,108
อินทรีย์	ผลต่าง	มก./บ่อ	3,472	4,004	3,990	3,528
	ผลต่างสะสม	มก./บ่อ	3,472	7,476	11,466	14,994

จากตารางที่ 40 จะเห็นได้ว่าการมีไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้น 4,718 และ 5,348 มิลลิกรัมต่อบ่อ เมื่อใส่น้ำแล้วครบ 1 และ 2 สัปดาห์ ตามลำดับนั้นยังไม่มากพอที่จะทำให้ความสูงของหญ้าโดยไม่คำนึงถึงชนิดแตกต่างกันทางสถิติ เพราะเมื่อมีแอมโมเนียมไนโตรเจนสะสม ซึ่งเป็น

รูปที่พืชควรจะใช้ได้ที่มาจากน้ำก่อนใส่ที่สูงขึ้น 1,246 และ 2,590 มิลลิกรัมต่อบ่อใน 2 สัปดาห์แรกนี้ตามลำดับนั้นกระจายอยู่ในดิน 225 กิโลกรัม ซึ่งมีความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร พัฒนาการของรากหญ้าในสัปดาห์แรกไม่น่าจะดีนัก รากหญ้าส่วนใหญ่น่าจะพัฒนาลงไปในทางลึกได้ไม่เกิน 5 เซนติเมตร แต่ในสัปดาห์ที่สองควรมีพัฒนาการของรากมากขึ้นและลึกขึ้นเป็น 10 เซนติเมตรได้ เพราะหากมีการกระจายของแอมโมเนียมอย่างสม่ำเสมอ ใน 5 เซนติเมตรแรกก็ควรจะมีไนโตรเจนที่มีประโยชน์ที่มาจากน้ำเสียจริงๆ 1,246 × 5/30 และ 2,590 × 5/30 หรือเพียงประมาณ 208 และ 432 มิลลิกรัม ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เท่านั้น พัฒนาการทางแนวนอนก็ใช่ว่าจะแผ่ขยายไปอย่างสม่ำเสมอจนเต็มกรอบรัศมีของรากจากหญ้าแต่ละกอได้ NH_4^+-N ที่เพิ่มขึ้นนี้นอกจากจะถูกนำเอาไปใช้สร้างรากแล้วยังน่าจะถูกนำเอาไปใช้ขยายความอวบอ้วนและความกว้างของแผ่นใบด้วย แต่คงจะยังไม่มากพอที่จะนำเอาไปเพิ่มทางด้านความสูงได้ ปริมาณ NH_4^+-N จากน้ำเสียที่ใส่ลงไปที่เพิ่มขึ้นจริงๆ ในแต่ละรอบและทำให้มีปริมาณสะสมจนครบ 3 สัปดาห์ ซึ่งสูงถึง 6,580 มิลลิกรัมต่อบ่อชี้บอกว่านอกจากจะทำให้พัฒนาการของรากทั้งในแนวนอนและแนวดิ่งดีขึ้นแล้วยังทำให้ความสูงของหญ้าเพิ่มขึ้นถึงระดับนัยสำคัญด้วย และในสัปดาห์ที่ 4การใส่น้ำเสียชุมชนลงไป 140 ลิตรในดิน 225 กิโลกรัมต่อบ่อนี้ทำให้มี NH_4^+-N สะสมสูงถึง 10,108 กรัมต่อบ่อ ทำให้พัฒนาการของระบบรากทั้งในแนวนอนและแนวดิ่งสมบูรณ์ขึ้นและทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าดีกว่าเมื่อให้น้ำชลประทานอย่างเด่นชัดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งตารางที่ 39ข แสดงเฉพาะด้านความสูงซึ่งแตกต่างกันทางสถิติเท่านั้น ส่วนน้ำหนักสดน้ำหนักแห้งและปริมาณน้ำในพืชนั้นจะได้นำเสนอต่อไป แท้จริงแล้วหญ้าจะต้องได้ NH_4^+-N ซึ่งจะค่อยๆ ถูก Mineralized ออกมาจาก Organic N หลังจากที่ถูกใส่ลงไปในดินด้วย จากการศึกษาของ Yoneyabasbi (1983) พบว่า Mineralization ของ Organic N ในดินนาของญี่ปุ่นจะสูงกว่าของดินนาของประเทศไทยเรา คือที่ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์จะปลดปล่อย NH_4-N ได้ร้อยละ5.33 7.46 8.29 และ 8.52 ของ Organic N ในขณะที่ดินนาของประเทศไทยเราจะปลดปล่อย NH_4-N ได้เพียงร้อยละ 3.24 4.19 4.84 และ 5.81 ตามลำดับเท่านั้น งานวิจัยนี้ ควรใช้ Mineralization rate ของ 0rganic N ในดินนาญี่ปุ่นแทนของ Organic N ในน้ำเพราะผลผลิตของข้าวญี่ปุ่นสูงกว่าของไทยเรามาก กล่าวคือ ในช่วงปี พ.ศ. 2536 – 2540 ผลผลิตเฉลี่ยของทั้งประเทศของประเทศไทยเรานั้นเพียง 375.6±16.0 (CV = 4.3%) ในขณะที่ของประเทศญี่ปุ่นนั้นมีค่าสูงถึง 980.8±140.9 (CV = 14.4%) (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2542) ดังนั้นตอซังของข้าวญี่ปุ่น จึงต้องมีทั้งปริมาณและคุณภาพ (%N) สูงกว่าของข้าวไทยเรา ดังนั้นจึงควรนำมาใช้คาดคะเน Mineralization ของ Organic N ในน้ำได้ ดังนั้นเพื่อให้เห็นเป็นรูปธรรมยิ่งขึ้นจึงใคร่คาดคะเนการกระจายของ Available N ในระดับความลึกต่างๆ โดยใช้สมมติฐานที่ตั้งไว้ในตอนต้นไว้ในตารางที่ 41 ในรอบที่ 1 นั้น NH_4-N จากผลต่างของ NH_4^+-N ที่มีอยู่ในน้ำก่อนใส่ควรกระจายอยู่ในดิน (ที่ผิวหน้าของ

อนุภาคดินเหนียว) สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง คือ ประมาณ 41.5 มิลลิกรัมต่อเซนติเมตร และยังจะได้ NH_4^+-N ซึ่ง Mineralized มาจาก Organic N ที่ใส่ในรอบแรกอีก 185.06 มิลลิกรัมต่อบ่อ ซึ่งก็ควรจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงคือ เพียงประมาณ 6.17 มิลลิกรัมต่อเซนติเมตร รวมเป็นประมาณ 47.70 มิลลิกรัมต่อเซนติเมตร ในพื้นที่ 7,857 ตารางเซนติเมตรของบ่อซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร ที่ใช้อยู่เท่านั้น ความสูงของหญ้าอาหารสัตว์ที่เกิดขึ้นในสัปดาห์แรกนี้จึงควรจะเกิดจาก NH_4^+-N ที่มาจากดินมิใช่มาจากน้ำเสียชุมชน ในรอบที่สองนั้น NH_4^+-N ทั้งที่มาจากน้ำเสียจากรอบที่ 1 และรอบที่ 2 ซึ่งมีค่า 1,246 และ 1,344 มิลลิกรัมต่อบ่อ ตามลำดับ และจะได้จาก Mineralizzed NH_4-N จาก Organic N ทั้งจากรอบที่ 1 ซึ่งจะมีอัตราเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5.33 เป็น 7.46 จาก Organic N จากน้ำเสียชุมชนของรอบที่ 2 ในสัปดาห์แรกซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 185.06 กับ 259.01 และ 213.41 มิลลิกรัมต่อบ่อ ตามลำดับ ด้วยรวมแล้วในสัปดาห์ที่ 2 นี้ ปริมาณ NH_4^+-N ที่มาจากน้ำเสียชุมชนซึ่งสูงกว่าจากน้ำชลประทานสูงขึ้นเป็น 1,246+1,344+472.42 หรือ 3,062.42 มิลลิกรัมต่อบ่อ แต่ก็ยังไม่สูงพอที่จะทำให้ความสูงของหญ้าที่ปลูกในบ่อที่รดด้วยน้ำเสียชุมชนสูงกว่าในบ่อที่รดด้วยน้ำชลประทานนั้น เนื่องจากพัฒนาการของรากทั้งในแนวลึกและแนวนอนนั้น ยังไม่สมบูรณ์พอประกอบกับการกระจายของ NH_4^+-N จากน้ำที่มีอยู่ก่อนใส่ลงในบ่อซึ่งมีอยู่ 1,344 มิลลิกรัมต่อบ่อนั้น คาดว่าจะกระจายอย่างสม่ำเสมออยู่ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตรแรกเท่านั้น ดังนั้นค่าเฉลี่ยใน 20 เซนติเมตรแรกนี้เพียง 67.20 มิลลิกรัมต่อเซนติเมตร ในขณะที่ Ammonification ในช่วง 2 สัปดาห์สะสม 472.42 มิลลิกรัมต่อ 30 เซนติเมตร ก็จะมีค่าเฉลี่ยเพียง 15.75 มิลลิกรัมต่อเซนติเมตรเท่านั้น เมื่อรวมกับ NH_4^+-N จากน้ำก่อนใส่ ซึ่งมีผลต่าง1,246 มิลลิกรัมต่อบ่อนั้น แล้วในแต่ละเซนติเมตรของความลึก 20 เซนติเมตรแรก จะมี NH_4^+-N สะสมอยู่เพียง 41.53 + 67.20 + 15.75 หรือ 124.48 มิลลิกรัมต่อเซนติเมตรเท่านั้น แต่พัฒนาการของรากทั้งในแนวนอนและแนวลึกของสัปดาห์ที่สองนี้ก็จะดีกว่าในสัปดาห์แรกแน่ เพราะเมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยความสูงของหญ้าในตารางที่ 37ข ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (Y) กับอายุของหญ้าหลังการทดลองเป็นวัน (X) ก็พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งและสามารถพยากรณ์ความสูงที่รดด้วยน้ำเสียชุมชน (W_1) และน้ำชลประทาน(W_2)ได้ด้วยสมการที่ 1 และ 2 ดังนี้

$$W_1\ \%\ (cm.) = 27.1 + 1.41\ day\ \ (r = 0.999^{**},\ n = 21\ day) \quad (1)$$

$$W_2\ \%\ (cm.) = 28.8 + 1.12\ day\ \ (r = 0.996^{**},\ n = 21\ day) \quad (2)$$

จาก 2 สมการนี้ จะเห็นได้ชัดเจนว่าอัตราเพิ่มความสูงในแต่ละวันใน W_1 สูงกว่า W_2 อย่างชัดเจน(ประมาณ 26%) สำหรับในรอบที่ 3 ซึ่งพบว่าหญ้าที่ปลูกในน้ำเสียชุมชนสูงกว่า

ในน้ำชลประทานในระดับนัยสำคัญนั้น เกิดจากการที่ NH_4^+-N ซึ่งเป็น Available N สะสมซึ่งสามารถคำนวณได้ทำนองเดียวกันกับที่ได้กล่าวแล้ว ในรอบที่ 3 นี้ว่ามี NH_4^+-N สูงถึง 7,379.20 มิลลิกรัมต่อบ่อใน 10 เซนติเมตรแรก ดังนั้นในแต่ละเซนติเมตรจะมี NH_4-N สะสม 41.53 + 67.20 + 161.0+26.64=296.37 มิลลิกรัม Available N ที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้พัฒนาการของรากทั้งในแนวนอนและแนวดิ่งสมบูรณ์ขึ้น และพัฒนาส่วนเหนือดินของหญ้ารวมทั้งความสูงเพิ่มขึ้นถึงระดับนัยสำคัญได้และได้ชัดเจนถึงระดับนัยสำคัญยิ่งในเรื่องของความสูงในรอบที่ 4 ซึ่งเป็นความสูงที่ครบการทดลองในช่วงแรก เมื่อพืชหลังการทดลองมีอายุครบ 4 สัปดาห์ ทั้งนี้เพราะในชั้น 10 เซนติเมตรแรก (จากบน) แต่ละเซนติเมตรจะมี NH_4^+-N กระจายอย่างสม่ำเสมออยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียวสูงถึง 41.53+67.20+161.0+191.8+37.11 หรือ 498.64 มิลลิกรัม หรือ 4986.4 มิลลิกรัมใน 10 เซนติเมตรแรก เพราะในรอบที่ 4 นี้ พัฒนาการของรากทั้งในแนวนอนซึ่งน่าจะสมบูรณ์แล้วและในแนวดิ่งก็น่าจะลึกถึง 10 เซนติเมตรแรกแล้วโดยเฉพาะในบ่อที่ได้รับน้ำเสียชุมชน ส่วนในน้ำชลประทานนั้นหญ้าต้องพึ่งพา NH_4^+-N ส่วนใหญ่ที่มาจากดิน ส่วนจากน้ำนั้นไม่พอแน่นอนเพราะแสดงอาการขาดแคลน N อย่างชัดเจนจนต้องเติมปุ๋ยยูเรียดังได้กล่าวแล้วตอนต้น

ตารางที่ 41 การกระจายของแอมโมเนียมจากน้ำเสียชุมชนในดินภายในบ่อซึ่งควรจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของหญ้าให้สูงกว่าจากน้ำชลประทาน

แหล่งที่มาของแอมโมเนียม	หน่วย	รอบที่			
		1	2	3	4
ก. จากการเปลี่ยนรูปหลังใส่ลงไปในดิน					
รอบที่ 1	มก./บ่อ	185.06	259.01	287.83	295.81
รอบที่ 2	มก./บ่อ		213.41	298.70	331.93
รอบที่ 3	มก./บ่อ			212.67	297.65
รอบที่ 4	มก./บ่อ				188.04
รวมในแต่ละสัปดาห์	มก./บ่อ	185.06	472.42	799.20	1,113.43
ข. แอมโมเนียมทั้งหมดจากน้ำก่อนใส่ลงไปในดิน					
(ก) ใน 10 ซม.แรก (75 กก.)	มก./ชั้น	415.33	672.00	1,610	1,918
(ข) ใน 10 ซม.ที่สอง (75 กก.)	มก./ชั้น	415.33	672.00	0	0
(ค) ใน 10 ซม.ที่สาม (75 กก.)	มก./ชั้น	415.34	0	0	0
รวมในแต่ละสัปดาห์	มก./บ่อ	1,246	1,344	1,610	1,918
ที่จะเป็นประโยชน์ได้สะสม	มก./บ่อ	1,431.06	3,062.42	7,379.20	11,221.43

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 39ค แสดงอิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงซึ่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกสัปดาห์ที่ทำการทดลองตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 4 (ตารางที่ 39ก) นั้น พบว่า สัปดาห์ที่ 1 หญ้าคาลล่าร์และหญ้าสตาร์อยู่ในกลุ่มที่มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด คือ 37.6^{a} และ 36.3^{a} เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหญ้าอุบลพาสพาลัม มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด คือ 34.7^{b} เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 2 หญ้าหญ้าสตาร์ มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด คือ 54.5^{a} เซนติเมตร ส่วนหญ้าคาลล่าร์ และหญ้าอุบลพาสพาลัมอยู่ในกลุ่มที่มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด คือ 42.2^{b} และ 40.6^{b} เซนติเมตร ตามลำดับ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 หญ้าสตาร์และหญ้าคาลล่าร์ มีความสูงอยู่ในกลุ่มที่สูงที่สุด คือ 61.7^{a} กับ 58.5^{a} และ 68.8^{a} กับ 67.1^{a} เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหญ้าอุบลพาสพาลัมมีความสูงต่ำสุดคือ 45.0^{b} และ52.9^{b} เซนติเมตร ตามลำดับ การที่หญ้าอุบลพาสพาลัมเตี้ยที่สุดในทุกรอบการทดลองนั้น อาจเกิดจากพัฒนาการของรากลงมาในแนวดิ่งนั้นสู้หญ้าทั้งสองพันธุ์ไม่ได้ พัฒนาการของรากในแนวดิ่งของหญ้าสตาร์และคาลล่าร์ซึ่งคาดว่าจะดีกว่านั้นควรจะมีโอกาสดูดใช้ NH_4^+-N ที่มีประโยชน์ในดินได้มากกว่าเพราะจากข้อมูลในตารางที่ 41 ประกอบกับวิธีการคำนวณดังได้กล่าวแล้วในอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำจะทำให้เราคาดคะเนได้ว่าถ้าใน 4 สัปดาห์ แรกนี้รากของหญ้าอาหารสัตว์ที่ศึกษานี้ชนิดใดชนิดหนึ่งสามารถขยายตัวลงไปในดินได้ลึกถึง 50% ของความลึกของดินในแต่ละบ่อคือ ลงไปได้อย่างมากที่สุดเพียง 15 เซนติเมตร จากผิวดินในแต่ละเซนติเมตรของดิน ก็จะมี NH_4-N 47.70 , 124.45 , 296.37 และ 498.64 มิลลิกรัม หลังจาก 1,2,3 และ 4 สัปดาห์ ของการทดลองตามลำดับ ความสูงของหญ้าคาลล่าร์และอุบลพาสพาลัมที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ 2 สัปดาห์นั้นอาจเกิดจากความผิดพลาดในการสุ่มตัวอย่าง แต่จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง(Y) กับอายุ(X) ของหญ้าสตาร์(P_1) หญ้าคาลล่าร์(P_2) และหญ้าอุบลพาสพาลัม(P_3) โดยไม่คำนึงถึงชนิดของน้ำ พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งและสามารถพยากรณ์ได้โดยสมการที่ 3-5

P_1 Y(cm.) = 29.15 + 1.496 day ($r = 0.968^{**}$, n = 21) (3)

P_2 Y(cm.) = 26.15 + 1.496 day ($r = 0.991^{**}$, n = 21) (4)

P_3 Y(cm.) = 28.55 + 0.843 day ($r = 0.991^{**}$, n = 21) (5)

จากสมการที่ 3-5 นี้จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าความชันของสมการเป็น cm/day ของสมการที่ 3 และ 4 นั้น ใกล้เคียงกันมากแต่สูงกว่าของสมการที่ 5 อย่างชัดเจน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงมาก (> 0.90นี้) ยืนยันว่าตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการทดลองนี้หญ้าทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญโดยที่ความสูงของทั้งหญ้าสตาร์(P_1) และหญ้าคาลล่าร์(P_2) สูงกว่าหญ้าอุบลพาสพาลัมอย่างชัดเจน

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ตารางที่ 39ง แสดงให้เห็นหลักฐานที่ทำให้อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองคือของแหล่งน้ำและชนิดพืชนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกรอบการทดลอง เพราะจะเห็นได้ว่าแนวโน้มความแตกต่างระหว่างชนิดของหญ้าใน Main Plot ทั้งที่ใช้น้ำเสียชุมชนกับน้ำชลประทานนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ อันดับของความสูงเฉลี่ยเป็น $P_2 \geq P_1 \geq P_3$ ทั้งใน W_1 และ W_2 เป็น $P_1 > P_2 = > P_3$ ทั้งใน W_1 และ W_2 และ เป็น $P_1 = P_2 > P_3$ ทั้งใน W_1 และ W_2 เมื่อทดลองแล้ว 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนทั้งหมดและแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนซึ่งมีสูงกว่าในน้ำชลประทานมากนั้นมิได้ทำให้หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนั้น แตกต่างกันทางสถิติเลย แต่ผลการวิเคราะห์ DMRT พบความแตกต่างกันนั้นเป็นเพราะมีความแตกต่างกันในอิทธิพลอิสระของหญ้าอาหารสัตว์กล่าวคือ หญ้าอุบลพาสพาลัมเตี้ยที่สุดแต่หญ้าอีกสองชนิดนั้นมีความสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่าสิ่งแวดล้อมทางด้านอาหารพืชจากน้ำเสียชุมชนนี้ยังมิสามารถเอาชนะพันธุกรรมได้ หากได้นำเอาค่าเฉลี่ยความสูงของหญ้าแต่ละชนิดที่ได้รับน้ำแต่ละชนิดไปทำกราฟก็จะพบว่ามีแนวโน้มที่จะเป็นไปในแนวขนานกันในทุกรอบของการทดลอง ปรากฏการณ์นี้ สามารถยืนยันได้จากค่าความชันของสมการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ทำนองเดียวกันกับในอิทธิพลอิสระทั้งในน้ำเสียชุมชน (W_1) และน้ำชลประทาน (W_2) ดังสมาการที่ 6-11 ดังนี้

ก. ใน Main plot ที่ใช้น้ำเสียชุมชน (W_1)

$$P_1\ Y(cm.) = 27.95 + 1.694\ day \qquad (r = 0.975^{**}, n = 21) \qquad (6)$$

$$P_2\ Y(cm.) = 25.15 + 1.624\ day \qquad (r = 0.993^{**}, n = 21) \qquad (7)$$

$$P_3\ Y(cm.) = 28.25 + 0.899\ day \qquad (r = 0.992^{**}, n = 21) \qquad (8)$$

ข. ใน Main plot ที่ใช้น้ำชลประทาน (W_2)

P_1 Y(cm.) = 30.20 + 1.293 day (r = 0.959**, n = 21) (9)

P_2 Y(cm.) = 27.05 + 1.319 day (r = 0.987**, n = 21) (10)

P_3 Y(cm.) = 28.75 + 0.783 day (r = 0.995**, n = 21) (11)

ความใกล้เคียงกันของความชัน (b) ของความสูงเพิ่ม (cm/day) ของหญ้าอาหารสัตว์ ทั้งใน W_1 และ W_2 กล่าวคือ $P_1b \approx P_2b > P_3b$ แต่ทุกค่าของ $W_1b > W_2b$ และ $W_1b > W_2b$ นี้เองที่ทำให้ความสูงของหญ้าโดยไม่คำถึงถึงชนิดในตารางที่ 39ข ที่ 3และ 4 สัปดาห์แตกต่างกันทางสถิติและที่ 1และ 2 สัปดาห์ก็มีแนวโน้มที่จะสูงกว่าด้วยเหตุผลดังได้กล่าวแล้ว

4.1.2 หลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย

ผลจากการวัดความสูงของหญ้าอาหารสัตว์ทั้งสามชนิดซึ่งได้รับอิทธิพลอิสระจากน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน หลังการใส่ปุ๋ยยูเรียเมื่อเก็บเกี่ยวครั้งแรกเมื่อทดลองให้น้ำแล้ว 4 สัปดาห์แล้วก่อนการวิเคราะห์ทางสถิติ นั้นมีข้อมูลดิบร่วมกับเมื่อก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรียอยู่ในตารางผนวกที่ 10 มีผลการศึกษาทางสถิติเฉพาะหลังการใส่ปุ๋ยยูเรียแล้วได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 42 โดยตารางที่ 42ก ได้นำเสนอค่า F-value จากการวิเคราะห์ความปรวนแปร ตารางที่ 42ข นำเสนอค่าเฉลี่ยความสูงของพืชซึ่งได้รับอิทธิพลอิสระจากแหล่งน้ำ ตารางที่ 42ค เสนอค่าเฉลี่ยความสูงของพืชที่ได้รับอิทธิพลอิสระของชนิดพืช ส่วนตารางที่ 42ง นั้นเสนอค่าเฉลี่ยความสูงของพืชที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การทดสอบความแตกต่าง

ตารางที่ 42ก พบว่าอิทธิพลอิสระของชนิดของน้ำที่ในการทดลองโดยไม่คำนึงถึงชนิดของพันธุ์หญ้าอาหารสัตว์ส่งผลให้ความสูงของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 พันธุ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเฉพาะในสัปดาห์ที่ 5 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะในสัปดาห์ที่ 6 และ7 ส่วนสัปดาห์ที่ 8 นั้นแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญ สำหรับอิทธิพลอิสระของชนิดพืชนั้น ส่งผลให้ความสูงพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกสัปดาห์ที่ทำการ

ทดลอง ส่วนอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนั้น พบว่ามีความแตกต่างไม่ถึงระดับนัยสำคัญเลยตลอด 5-8 สัปดาห์ที่ศึกษา

ตารางที่ 42 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความสูง (เซนติเมตร) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด หลังใส่ปุ๋ยยูเรีย

ก. ค่า F value MS error และ CV (ร้อยละ)

SOV	df	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)			
		5	6	7	8
Water (W)	1	374.48**	19.21*	30.33*	6.40^{NS}
MS Error a	2	0.40	9.00	11.69	78.32
CV (a)		0.81	3.27	3.51	8.57
Plant (P)	2	18.85**	9.93**	13.20**	19.56**
W x P	2	0.27^{NS}	1.33^{NS}	0.24^{NS}	0.12^{NS}
MS Error b	8	18.30	27.2	24.6	27.1
CV (b)		5.5	5.68	5.10	5.04

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตด้านความสูง

แหล่งน้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)			
	5	6	7	8
น้ำเสียชุมชน (W_1)	80.8^{a}	94.8^{a}	101.7^{a}	108.5
น้ำชลประทาน (W_2)	75.0^{b}	88.6^{b}	92.8^{b}	98.0

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยความสูงของพืช

ชนิดพืช	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)			
	5	6	7	8
หญ้าสตาร์ (P_1)	83.8^{a}	97.1^{a}	105.3^{a}	113.7^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	80.7^{a}	93.9^{a}	95.7^{b}	100.6^{b}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	69.4^{b}	84.2^{b}	90.9^{b}	95.4^{b}

ตารางที่ 42 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

อิทธิพลร่วม	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)			
	5	6	7	8
น้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	85.6	97.6	108.6	118.4
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	83.9	97.3	100.9	105.6
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	72.9	89.6	95.7	101.5
น้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	82.0	96.6	102.0	109.0
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	77.5	90.5	90.5	95.6
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	65.8	78.8	86.0	89.3

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 42ข แสดงให้เห็นชัดเจนว่าหลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียลงไป 9.63 กรัมไนโตรเจนต่อบ่อแล้วน้ำเสียชุมชนส่งเสริมให้หญ้าอาหารสัตว์โดยไม่คำนึงถึงชนิดของพันธุ์หญ้ามีการเจริญเติบโตดีกว่าหญ้าที่ปลูกในบ่อที่รดด้วยน้ำชลประทานอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในสัปดาห์ที่ 5 (ตารางที่ 42ก) กล่าวคือ ทำให้มีความสูงเฉลี่ย 80.8^a กับ 75.0^b เซนติเมตร สำหรับสัปดาห์ที่ 6 และ 7 ซึ่งแตกต่างกันแคบลงมาอยู่ในระดับนัยสำคัญ (ตารางที่ 42ก) นั้น $W_1 > W_2$ โดยทำให้มีความสูงเฉลี่ย 94.8^a กับ 88.6^b เซนติเมตร และ 101.7^a กับ 92.8^b เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 42ก เช่นเดียวกัน) มีความสูงเฉลี่ย 108.5^a กับ 98.0^a เซนติเมตร ปรากฏการณ์การตอบสนองต่อปุ๋ยยูเรียและไนโตรเจนรูปต่างๆในน้ำเสียชุมชนเหนือน้ำชลประทานนั้นสามารถอธิบายได้จากการแพร่กระจายของ NH_4^+-N ในน้ำก่อนใส่ลงไปในแปลงและที่เกิด Mineralization จาก Organic N ที่ใส่ไว้เมื่อตอนต้นสัปดาห์และรายงานเมื่อปลายสัปดาห์และการกระจายอยู่ในชั้นดินซึ่งคาดว่าทุกรูปของ N น่าจะอยู่ใน 10 เซนติเมตรแรกทั้งหมดทำนองเดียวกันที่ได้เสนอไว้ในช่วงก่อนการใส่ปุ๋ยใน 4 สัปดาห์แรกแล้ว เพื่อให้เป็นรูปธรรมจึงใคร่ขอเสนอตารางที่ 43 และ 44 มาประกอบคำอธิบาย จากตารางที่ 43 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของ NH_4^+-N จากน้ำเสียชุมชนก่อนทดลองสะสมมาถึงสัปดาห์ที่ 5 ปริมาณ 12,474 มก./บ่อ และจาก mineralized NH_4^+-N จาก

Organic N ที่ใส่ลงไปตอนต้นสัปดาห์นั้นเมื่อปลายสัปดาห์จะมีเพิ่มขึ้นมาอีก 1,456.29 มก./บ่อ (ตารางที่ 42) รวมเป็น 13,930.29 มก./บ่อ นั้นยังมีอิทธิพลเหนือการ

ตารางที่ 43 ผลต่างเฉพาะของปริมาณไนโตรเจนรูปต่างๆ จากน้ำเสียชุมชนซึ่งสูงกว่าจากน้ำชลประทาน บ่อละ 140 ลิตร และใช้ดินบ่อละ 225 กิโลกรัม หลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย

รูปของไนโตรเจน	แหล่งที่มา	หน่วย	รอบที่			
			5	6	7	8
ทั้งหมด	น้ำเสียชุมชน	มก./ล.	49.2	50.7	49.3	45.2
	น้ำชลประทาน	มก./ล.	2.9	2.7	3.6	3.6
	ผลต่าง	มก./ล.	46.3	48.0	45.7	41.6
		มก./บ่อ	6,482	6,720	6,398	5,824
แอมโมเนียม	น้ำเสียชุมชน	มก./ล.	18.2	18.8	18.8	15.0
	น้ำชลประทาน	มก./ล.	1.3	1.2	1.3	1.4
	ผลต่าง	มก./ล.	16.9	17.6	17.5	13.6
		มก./บ่อ	2,366	2,464	2,450	1,904
	ผลต่างสะสม	มก./บ่อ	12,474	14,938	17,388	19,292
อินทรีย์	ผลต่าง	มก./บ่อ	4,116	4,256	3,276	3,920
	ผลต่างสะสม	มก./บ่อ	19,110	23,366	26,642	30,562

ใส่ปุ๋ยยูเรียที่มีเนื้อ N 9,630 มก./บ่อ เพราะปุ๋ยยูเรียที่เติมในตอนนี้ควรจะแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมออยู่ในเฉพาะ 10 เซนติเมตรแรก เพราะถูกประจุลบของ clay ดูดยึดไว้หมด พัฒนาการของรากพืชในบ่อที่ใช้น้ำชลประทานจึงขยายไปเฉพาะทางแนวนอนส่วนของบ่อที่ใช้น้ำเสียชุมชนนั้นนอกจากจะพัฒนาในแนวนอนจนหนาแน่นกว่าแล้วยังลงไปในแนวลึกด้วย เพราะช่วง 7 วันนี้ไม่น่าจะทำให้พัฒนาการของรากในบ่อที่ใช้น้ำชลประทานซึ่งขาดไนโตรเจนก่อนใส่ปุ๋ยรุนแรงมากได้ดีนัก ในสัปดาห์ที่ 6 อิทธิพลของปุ๋ยยูเรียซึ่งใส่มาแล้ว 14 วันน่าจะทำให้พัฒนาการของรากในแนวนอนของบ่อที่ใช้น้ำชลประทานสมบูรณ์ดีแล้วเหมือนในบ่อที่ใช้น้ำเสียชุมชนซึ่งน่าจะสมบูรณ์ดีแล้วก่อนใส่ปุ๋ยแต่ยังได้นานพอที่จะทำให้พัฒนาการในส่วนเหนือดินของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านความสูงในบ่อที่ใช้น้ำชลประทานซึ่งขาดแคลนไนโตรเจนอย่างรุนแรงนั้นทัดเทียมกับในน้ำเสียชุมชน ดังนั้นอิทธิพลของ NH_4-N จากน้ำก่อนใส่ลงไปในชั้นดินจนถึงต้นสัปดาห์ที่ 6 ปริมาณ 14,938 มก./บ่อ(ตารางที่ 44) ร่วมกับ mineralization เป็น NH_4^+-N ของ organic N เมื่อปลายสัปดาห์อีก 1,803.26 มก./บ่อ (ตารางที่ 44) รวมเป็น 16,741.26 มก./บ่อ จึงยัง

คงเหลืออิทธิพลของน้ำชลประทานในระดับนัยสำคัญ แม้จะมี N อยู่บ้างและได้รับขึ้นอีก 9,630 มก./บ่อ เมื่อ 14 วันที่แล้วก็ตาม ในสัปดาห์ที่ 7 ซึ่งอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำคงยังอยู่ระดับนัยสำคัญนั้น แสดงว่า อิทธิพลของ NH_4^+-N จากน้ำเสียชุมชนก่อนทดลอง

ตารางที่ 44 การกระจายของแอมโมเนียมเฉพาะจากน้ำเสียชุมชนซึ่งจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของหญ้าได้สูงกว่าจากน้ำชลประทาน หลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย

แหล่งที่มาของแอมโมเนียม	หน่วย	รอบที่			
		5	6	7	8
ก. จากการเปลี่ยนรูปหลังใส่ลงไปในดิน					
รอบที่ 1	มก./บ่อ	295.81	295.81	295.81	295.81
รอบที่ 2	มก./บ่อ	341.14	341.14	341.14	341.14
รอบที่ 3	มก./บ่อ	336.77	339.95	339.95	339.95
รอบที่ 4	มก./บ่อ	263.19	292.47	366.59	366.95
รอบที่ 5	มก./บ่อ	219.38	307.05	341.22	341.22
รอบที่ 6	มก./บ่อ		226.84	317.50	341.22
รอบที่ 7	มก./บ่อ			174.61	244.39
รวมในแต่ละสัปดาห์สะสม	มก./บ่อ	1,456.29	1,803.26	2,176.86	2,270.68
ข. จากผลต่างสะสมจากน้ำก่อนใส่	มก./บ่อ	12,474	14,938	17,388	19,292
รวมผลต่างสะสม	มก./บ่อ	13,930.29	16,741.26	19,564.86	21,562.68

สะสมสูงถึง 17,388 มก./บ่อ (ตารางที่ 44) และมี NH_4^+-N mineralized เมื่อปลายสัปดาห์ที่ 7 อีก 2,176.86มก./บ่อ(ตารางที่ 44) รวมเป็น available N 19,564.86 มก./บ่อ ยังคงมีอิทธิพลเหนือปุ๋ยยูเรียซึ่งใส่ลงไปในน้ำทั้งสองแหล่งแต่หญ้าในบ่อที่รดด้วยน้ำชลประทานยังได้รับประโยชน์จากปุ๋ยยูเรียที่ใส่ลงไปไม่เต็มที่พอที่จะทำให้พัฒนาการของส่วนเหนือดินทางด้านความสูงยังไม่สมบูรณ์พอแม้พัฒนาการของของรากในแนวนอนจะพัฒนาสมบูรณ์แล้ว ในแนวดิ่งภายใน 10 เซนติเมตรแรกอาจยังไม่สมบูรณ์ดี ส่วนสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งความสูงของพืชในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานไม่แตกต่างกันทางสถิตินั้นน่าจะเนื่องจากทั้งแนวนอนและแนวดิ่ง ซึ่งควรจะพัฒนาได้สมบูรณ์เมื่อต้นสัปดาห์ที่ 8นั้น สามารถดูดเอาไนโตรเจนจากทั้งน้ำชลประทาน ดิน และปุ๋ยยูเรียที่ใส่ลงไป 9,630 มก./บ่อ นั้น สามารถถูกนำไปใช้พัฒนาความสูงของหญ้าอาหารสัตว์ได้เต็มศักยภาพพันธุกรรมของหญ้าแต่ละชนิด ทำนองเดียวกันกับในแปลงที่ได้รับทั้งปุ๋ยยูเรียจากดินและไนโตรเจนจากน้ำเสียชุมชนซึ่งมี NH_4^+-N มากกว่ามากได้

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 42ค แสดงอิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงซึ่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกสัปดาห์ที่ทำการทดลอง ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 8 (ตารางที่ 42ก) นั้น พบว่า สัปดาห์ที่ 5 และ 6 หญ้าคาลล่าร์และหญ้าสตาร์ อยู่ในกลุ่มที่มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด คือ 83.8^{a} กับ 80.7^{a} และ 97.1^{a} กับ 93.9 เซนติเมตร ส่วนหญ้าอุบลพาสพาลัม มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด คือ 69.4^{b} และ 84.2^{b} เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับสัปดาห์ที่ 7 และสัปดาห์ที่ 8 หญ้าสตาร์มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด คือ 105.3^{a} กับ 113.7^{a}เซนติเมตร ส่วนหญ้าคาลล่าร์และหญ้าอุบลพาสพาลัมมีความสูงอยู่ในกลุ่มต่ำสุด คือ 95.7^{b} กับ 90.9^{b} และ 100.6^{b} และ 95.4^{b} เซนติเมตร ตามลำดับ การที่หญ้าอุบลพาสพาลัมเตี้ยที่สุดในทุกรอบการทดลองนั้น อาจเกิดจากพัฒนาการของรากลงมาในแนวดิ่งนั้นสู่หญ้าทั้งสองพันธุ์ไม่ได้ พัฒนาการของรากในแนวดิ่งของหญ้าสตาร์และคาลล่าร์ซึ่งคาดว่าจะดีกว่า นั้นควรจะมีโอกาสดูดใช้ NH_4^+-N ที่ค่อยๆ Mineralized ออกมาจากแปลงที่ได้รับน้ำเสียได้มากกว่า เพราะ Organic N ในน้ำเสียซึ่งไม่ควรมีประจุไหลลงมาตาม macropore ที่เกิดจากการผสมทรายหยาบลงไปในดิน ที่ค่อยๆ Mineralized NH_4^+-N ออกมาและถูก clay ดูดซับไว้ เมื่อรากพืชมาสัมผัสก็สามารถดูดไปใช้ได้

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ตารางที่ 42ง แสดงให้เห็นหลักฐานที่ทำให้อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองของแหล่งน้ำและชนิดพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกรอบการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่า แนวโน้มความแตกต่างระหว่างชนิดของหญ้าใน main plot ที่ใช้น้ำเสียชุมชนกับน้ำชลประทานนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ และถ้าหากนำเอาไปทำกราฟแนวโน้มของเส้นความแตกต่างระหว่างชนิดพืชทั้ง 3 ชนิดภายในแหล่งน้ำทั้ง 2 จะเป็นไปในแนวขนานกันในทุกรอบของการทดลอง ปรากฏการณ์นี้ สามารถยืนยันได้จากค่าความชัน (b) ของสมการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ทำนองเดียวกันกับในอิทธิพลอิสระทั้งในน้ำเสียชุมชน (W_1) และน้ำชลประทาน (W_2) ดังสมาการที่

ก.ใน Main plot ที่ใช้น้ำเสียชุมชน (W_1)

$$P_1\ Y(cm.) = 31.44 + 1.563\ day \qquad (r = 0.999^{**}, n = 21) \qquad (12)$$

$$P_2\ Y(cm.) = 52.27 + 0.981\ day \qquad (r = 0.951^{**}, n = 21) \qquad (13)$$

P_3 Y(cm.) = 30.19 + 1.313 day ($r = 0.961^{**}$, n = 21) (14)

ข.ใน Main plot ที่ใช้น้ำชลประทาน (W_2)

P_1 Y(cm.) = 41.24 + 1.234 day ($r = 0.974^{**}$, n = 26) (15)

P_2 Y(cm.) = 52.23 + 0.776 day ($r = 0.906^{**}$, n = 26) (16)

P_3 Y(cm.) = 29.47 + 1.110 day ($r = 0.963^{**}$, n = 26) (17)

ความใกล้เคียงกันของความชัน (b) ของความสูงเพิ่ม cm/day ของหญ้าอาหารสัตว์ ทั้งใน W_1 และ W_2 กล่าวคือ $P_1b \simeq P_2b > P_3b$ แต่ทุกค่าของ $W_1b > W_2b$ และ $W_1b > W_2b$ นี้เองที่ทำให้ความสูงของหญ้าโดยไม่คำถึงถึงชนิดในตารางที่ 42ข ที่ 5 6 และ 7 สัปดาห์แตกต่างกันทางสถิติ

4.2 ผลผลิตและปริมาณน้ำในหญ้าอาหารสัตว์

ผลผลิตน้ำหนักแห้งของพืชเป็นดัชนีที่แสดงถึงการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด เพราะเป็นมวลสุทธิที่เกิดจากกขบวนการเมตาบอลิซึมของกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจ แต่ก่อนที่จะได้น้ำหนักแห้งนั้นจำเป็นต้องตัดพืชมาชั่งน้ำหนักสดแล้วจึงเอาไปอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ๆ 70 องศาเซลเซียสเสียก่อน และจะได้ปริมาณน้ำทั้งในพืชสดและพืชแห้งเป็นข้อมูลทางสรีรวิทยาของพืชที่ประโยชน์ เป็นผลพลอยได้ด้วย สำหรับพืชอาหารสัตว์นั้น ส่วนเหนือดินของพืชไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักสดหรือน้ำหนักแห้งถือเป็นผลผลิตทางการเกษตรเพราะเป็นวัตถุดิบประเภทอาหารหยาบสำหรับผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้นจึงได้แยกเรื่อง ผลผลิต ปริมาณน้ำในพืชออกมาจากความสูง ผลผลิต ปริมาณน้ำในพืช ซึ่งขอแยกนำเสนอข้อมูลก่อนและหลังการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าออกจากกันทำนองเดียวกับเรื่องของความสูงที่ได้กล่าวแล้ว ดังนี้

4.2.1 ก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย

ตารางผนวกที่ 11 ,12 ,13 และ 14 แสดงข้อมูลดิบทางด้านน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งของหญ้าที่ระยะเวลา 4,6 และ 8 สัปดาห์ร่วมกัน เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลอง แล้วได้แยกนำเสนอเฉพาะข้อมูลทางสถิติที่สำคัญของระยะเวลา 4 สัปดาห์ซึ่งเป็นข้อมูลก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย ไว้ในตารางที่ 45 โดยตารางที่ 45ก นำเสนอค่า

F-values, MS error และ CV(%) ของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งปริมาณน้ำในพืชสด และของพืชแห้ง ไว้ด้วยกัน ตารางที่ 45ข , 45ค และ 45ง เป็นการนำเสนออิทธิพลอิสระของชนิดน้ำและชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบปรากฏการณ์ที่สำคัญต่างๆ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 45 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อผลผลิต (กรัมต่อบ่อ) และปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชที่ระยะวันตัด 4 สัปดาห์

ก. F value MS error และ CV(%)

SOV	df	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
Water(W)	1	34.6*	50.1*	7.6^{NS}	2.3^{NS}
MS Error a	2	157.4	27.3	1.8	209.7
CV(a)		7.7	8.9	2.1	7.7
Plant(P)	2	51.4**	65.6**	83.8**	55.5**
W x P	2	0.2^{NS}	4.3^{NS}	25.9**	9.4**
MS Error b	8	375.1	56.6	2.7	312.5
CV(b)		11.9	12.9	2.6	9.44

ข. อิทธิพลของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยผลผลิตและปริมาณน้ำในพืช

แหล่งน้ำ	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
น้ำเสียชุมชน (W_1)	179.4^a	66.8^a	63.3^a	182.1^a
น้ำชลประทาน (W_2)	144.7^b	49.4^b	64.9^a	192.5^a

ตารางที่ 45 (ต่อ)

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยผลผลิตและปริมาณน้ำในพืช

ชนิดพืช	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
หญ้าสตาร์ (P_1)	215.1[a]	86.4[a]	60.3[b]	155.4[b]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	102.3[c]	39.6[b]	60.9[b]	157.1[b]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	168.7[b]	48.4[b]	71.2[a]	249.4[a]

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยของผลผลิตและปริมาณน้ำในพืช

อิทธิพลร่วม	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
น้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	230.0[a]	102.4[a]	62.7[c]	168.1[bc]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	118.7[cd]	44.2[cd]	71.6[a]	252.3[a]
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	189.7[b]	53.9[c]	55.5[c]	125.0[d]
น้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	200.3[ab]	70.3[b]	59.3[d]	146.3[cd]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	86.0[d]	35.0[d]	70.7[a]	245.7[a]
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	147.7[c]	42.8[cd]	65.0[b]	185.7[b]

1) การทดสอบความแตกต่าง

จากตารางที่ 45ก จะเห็นได้ชัดเจนว่าอิทธิพลของ Main Plot หรือชนิดของน้ำทำให้ผลผลิตน้ำหนักสด และแห้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างระกับนัยสำคัญยิ่ง พบได้ในอิทธิพลอิสระของ Subplot หรือชนิดของพืชทั้ง 4 ดัชนีที่ศึกษา คือ ทั้งผลผลิตน้ำหนักสด ปริมาณวัตถุแห้ง ปริมาณน้ำในพืชสดและของในพืชแห้ง และพบความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งในอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองในปริมาณน้ำในพืชสดและของในพืชแห้ง ส่วนดัชนีอื่นๆ นั้นพบว่ามีความแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญ

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 45ข แสดงให้เห็นชัดเจนว่า น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีทำให้ผลผลิตทั้งปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งหญ้าโดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้านั้นสูงกว่าในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานอย่างเด่นชัด อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 45ก) กล่าวคือให้น้ำหนักสดและวัตถุแห้ง 179.4^{a} กับ 144.7^{b} และ 66.8^{a} กับ 49.4^{b} กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญนี้ยืนยันข้อสมมติฐานที่ได้กล่าวแล้วในเรื่องความสูงซึ่งแตกต่างกันในระดับนัยสำคัญยิ่งที่ว่า ปริมาณ NH_4^+-N ที่ mineralized มาจาก Organic N ในบ่อที่ให้น้ำเสียชุมชนนั้นควรจะถูกดูดเอาไปได้มากขึ้นและจะเอาไปสร้างรากและทำให้ส่วนเหนือดินมีขนาดอวบอ้วนขึ้น และ/หรือมีแขนงมากขึ้น แต่มิได้ไปเพิ่มความสูงเพียงอย่างเดียว เพราะเกิดการสะสม NH_4^+-N ทั้งที่มาจากน้ำเสียชุมชนก่อนการใส่และที่ Mineralized มาจาก Organic ที่ใส่ลงไปในแต่ละรอบหลังจากที่ใส่ลงไปแล้วด้วย แต่การสะสมนี้จะจะเกิดในแนวดิ่งมากกว่าในแนวนอนดังได้สันนิษฐานไว้ในเรื่องของความสูงที่ได้กล่าวแล้ว พัฒนาการของรากไปในแนวลึกในบ่อที่ได้รับน้ำเสียจึงควรจะมากกว่าในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น กล่าวคือผลต่างของ NH_4^+-N สะสมในแต่ละเซนติเมตรใน 10 เซนติเมตรแรก ซึ่งควรจะกระจายอย่างสม่ำเสมอนั้นจะเป็น 41.53 + 67.20 + 161.00 + 191.80 + 37.11 หรือ 498.64 มิลลิกรัมหรือรวมเป็น 4,986.4 มิลลิกรัมใน 10 เซนติเมตรแรก(คำนวณจากตารางที่ 39) แต่การเพิ่มขึ้นทางด้านความอวบอ้วนของลำต้นและการแตกกิ่งก้านนั้นยังไม่เด่นชัดเหมือนความสูง อาจเป็นเพราะในระยะ 4 สัปดาห์แรกนี้เป็นพัฒนาการของรากเป็นส่วนใหญ่ก่อนแล้วจึงมีการพัฒนาของส่วนเหนือดินโดยเริ่มต้นที่มีการพัฒนาใบให้กว้างและยาวขึ้น เพื่อให้สามารถสังเคราะห์แสงได้มากขึ้นและทำการเปลี่ยน NH_4^+-N ที่ถูกดูดเข้าไปทางรากแล้วเคลื่อนย้ายไปตามท่อน้ำ(Xylem) ไปยังใบแล้วทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ ซึ่งเกิดขึ้นขณะทำการหายใจภายใต้การส่งเสริมของน้ำย่อย(Enzymes)ต่างๆ ให้กลายเป็นกรดอะมิโน(Amino Acids) และกลายเป็นโปรตีนต่อไป แล้วจึงถูกส่งเข้าท่ออาหาร(Phloem) เพื่อส่งลงไปสร้างรากให้เพิ่มขึ้นๆ แต่ในช่วง 4 สัปดาห์แรกนี้ยังเหลือสารอาหารที่พืชสังเคราะห์ได้เพื่อเอาไปสร้างส่วนเหนือดินอื่นๆได้ไม่เด่นชัดเท่ากับการสร้างใบและขยายความสูงของลำต้น ความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งจึงพบได้ในเรื่องของความสูง(ตารางที่ 37ก และ ข) แต่กับความอวบอ้วนและการแตกกิ่งก้านซึ่งบ่งชี้โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งนั้นยังคงเด่นชัดเฉพาะระดับนัยสำคัญเท่านั้น การไม่พบความแตกต่างในปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งนั้น เนื่องจากที่ระยะ 4 สัปดาห์นี้พืชยังอยู่ในระยะเริ่ม ต้นของการเจริญเติบโตทาง Vegetative พัฒนาการของกลุ่มเซลล์ประเภทต่างๆ จึงยังคงไม่มากนัก คือชนิดของเซลล์ในกลุ่มเนื้อเยื่อต่างๆ ยังไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเหมือนพืชแก่ โดยทำให้มีปริมาณน้ำ

ในพืชสดร้อยละ 63.3 กับ 64.9 และของพืชแห้ง 182.1 กับ 192.5 ในบ่อที่ได้รับน้ำเสียและน้ำชลประทานตามลำดับ

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 45ค แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งที่พบในผลผลิตน้ำหนักสด และแห้ง ปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้ง (ตารางที่ 43ก) นั้นทำให้หญ้าสตาร์มีน้ำหนักสดสูงที่สุด คือ 215.1[a] กรัมต่อบ่อ และน้ำหนักแห้ง 86.4[a] กรัมต่อบ่อ หญ้าคาลล่าร์ให้น้ำหนักสดต่ำที่สุด 102.3[c] กรัมต่อบ่อ และน้ำหนักแห้งต่ำสุดเช่นกัน 39.6[b] กรัมต่อบ่อ ขณะที่หญ้าอุบลพาสพาลัมให้น้ำหนักสดปานกลาง 168.7[b] กรัมต่อบ่อ และผลผลิตนั้นไม่แตกต่างกับหญ้า คาลล่าร์คือ 48.4[b] กรัมต่อบ่อ การมีผลผลิตทั้งปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุดของหญ้าสตาร์นี้สอดคล้องกับความสูงด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ความสูงของหญ้าคาลล่าร์ซึ่งอยู่ในกลุ่มที่สูงมากที่สุด (ตารางที่ 45ค) กลับทำให้ผลผลิตหนักสดและแห้งต่ำที่สุดนั้นน่าจะเนื่องมาจากลักษณะของใบหญ้าชนิดนี้มีแผ่นใบแคบที่สุดเพียง 0.4-0.7 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าสตาร์ซึ่งมีความกว้าง 4-7 เซนติเมตร และหญ้าอุบลพาสพาลัมซึ่งมีความกว้าง 3-4 เซนติเมตร ความกว้างของแผ่นใบนี้น่าจะมีความสัมพันธ์อยู่กับความสามารถในการสังเคราะห์แสงเพราะใบที่มีความกว้างน่าจะมีพื้นที่รับแสงได้มากกว่า แม้ว่าหญ้าคาลล่าร์นี้จะมีใบยาวใกล้เคียงกับหญ้าอุบลพาสพาลัม แต่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงจะต้องน้อยกว่าแน่เพราะมีน้ำหนักสดน้อยกว่ามาก น้ำหนักสดที่สูงที่สุดของหญ้าสตาร์นั้นเกิดจากการสร้างเซลล์และมีพัฒนาการของเซลล์ควรจะดีที่สุดเพราะทำให้มีความสูงมากที่สุดทั้งๆที่มีความยาวของใบน้อยที่สุดเพียง 25 เซนติเมตร แต่น่าจะมีพัฒนาการของรากดีที่สุดจึงมีพัฒนาการของส่วนเหนือดินดีที่สุดด้วย ทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง การมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติของหญ้าอุบลพาสพาลัมกับหญ้าคาลล่าร์ทั้งๆที่มีน้ำหนักสดมากกว่าเป็นเพราะหญ้าอุบลพาสพาลัมมีปริมาณน้ำที่ในพืชสดและของพืชแห้งสูงกว่า ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป ส่วนปริมาณน้ำในพืชนั้นหญ้าอุบลพาสพาลัมมีปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งสูงที่สุด คือ 71.2[a] และ249.4[a] เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงที่สุดในขณะที่หญ้าคาลล่าและหญ้าสตาร์นั้นมีปริมาณน้ำในพืชต่ำกว่า แต่ทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งปริมาณน้ำในพืชสด (60.9[b] กับ 60.3[b]) และของพืชแห้ง (157.1[b] กับ 155.4[b]) ตาม ลำดับ การมีปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งมีส่วนสัมพันธ์ผกผันกับอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของพืชอย่างชัดเจนกล่าวคือ หญ้าอุบลพาสลาลัมซึ่งมีอัตราเพิ่มของความสูงเพียง 0.843 เซนติเมตรต่อวัน (สมการที่ 5) ในขณะที่หญ้าสตาร์และหญ้าคาลล่าร์นั้นมีอัตราการเพิ่มใกล้เคียงกันคือ 1.496 (สมการที่ 3) และ 1.469 (สมการที่ 4) เซนติเมตรต่อวัน พืชที่เจริญเติบโตเร็วกว่ากันจะมีพัฒนาการของเซลล์ไปได้

ไกลกว่า(มีอายุมากกว่า) ซึ่งจะมีผนังเซลล์หนากว่าและยาวกว่า (สมบุญ, 2548) ทำให้มีน้ำในพืชสดและของพืชแห้งน้อยกว่าซึ่งเป็นการยืนยันสมมุติฐานที่ว่าพัฒนาการของระบบรากไปในแนวลึกของหญ้าอุบลพาสพาลัมสู้หญ้าอีกสองชนิดไม่ได้

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ตารางที่ 45ง แสดงค่าเฉลี่ยของดัชนีทั้ง 4 ซึ่งได้รับอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำและชนิดของพืชระดับนัยสำคัญยิ่งในเรื่องของปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้ง และไม่ถึงระดับนัยสำคัญสำหรับผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ความแตกต่างซึ่งเกิดขึ้นในค่าเฉลี่ยของผลผลิตทั้งสองดัชนีนี้เป็นเพราะมีความแตกต่างในอิทธิพลอิสระของทั้งแหล่งน้ำและชนิดพืช แต่แนวโน้มของความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำทั้งสองนี้เป็นไปในทำนองเดียวกันกล่าวคือ ในผลผลิตน้ำหนักสดนั้นความแตกต่างอยู่ในอันดับ $P_1 > P_2 > P_3$ ทั้งใน W_1 และ W_2 ในขณะที่ผลผลิตน้ำหนักแห้งนั้นอยู่ในอันดับ $P_1 > P_2 \approx P_3$ ทั้งใน W_1 และ W_2 หรือจะสาธิตให้เข้าใจอิทธิพลร่วมที่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญนี้ได้ง่ายๆ โดยการนำเอาข้อมูลในตารางที่ 45ง นี้ไปสร้างกราฟโดยมีแกนนอนเป็นชนิดของพืชและแกนตั้งเป็นผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้เมื่อได้รับอิทธิพลของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานแล้วมาลากเส้นเชื่อมค่าเฉลี่ยของแต่ละแหล่งน้ำ ก็จะเห็นอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำนั้นแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยน้ำเสียชุมชนจะส่งเสริมความสูงมากกว่าน้ำชลประทาน แต่เส้นทั้งสองเส้นนี้จะไม่มีแนวโน้มที่จะตัดกัน การไม่พบอิทธิพลร่วมในระดับนัยสำคัญในเรื่องของผลผลิตนี้แสดงว่าปริมาณธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากน้ำเสียมิได้ส่งเสริมให้เกิดการเจริญของพืชอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง ด้วยอัตราเร็วสูงกว่าในน้ำชลประทานเป็นพิเศษจนเอาชนะอิทธิพลของพันธุกรรมของพืชได้ ส่วนอิทธิพลร่วมของปริมาณน้ำทั้งในพืชสดและของพืชแห้ง ซึ่งแตกต่างในระดับนัยสำคัญยิ่งนั้น ถ้าถูกนำไปสร้างกราฟทำนองเดียวกันกับ เรื่องผลผลิตก็จะเห็นจุดตัดของเส้นชัดเจนว่า ปริมาณน้ำในพืชสดของหญ้าคาลล่าร์กับหญ้าสตาร์นั้นตรงกันข้ามกล่าวคือในบ่อน้ำเสียชุมชน (62.7^{c} เปอร์เซ็นต์) จะสูงกว่าน้ำชลประทาน (59.3^{d} เปอร์เซ็นต์) ในหญ้าคาลล่าร์ แต่ในบ่อน้ำเสียชุมชน (55.5^{e} เปอร์เซ็นต์) จะต่ำกว่าน้ำชลประทาน (65.0^{b} เปอร์เซ็นต์) ในหญ้าสตาร์ ส่วนในหญ้าอุบลพาสพาลัมนั้นน้ำทั้งสองชนิดมิได้ทำให้ปริมาณน้ำในพืชสดแตกต่างกันทางสถิติ (71.6^{a} กับ 70.7^{a} เปอร์เซ็นต์) สำหรับปริมาณน้ำของพืชแห้งนั้นความแตกต่างทางสถิติพบได้เฉพาะในหญ้าสตาร์ ซึ่งในบ่อน้ำเสียยังคงต่ำกว่าในน้ำชลประทานเหมือนกับของพืชสด คือร้อยละ 125.0^{a} และ 185.7^{b} ในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานตามลำดับ ส่วนในหญ้าคาลล่าร์และหญ้าอุบลพาสพาลั่มนั้นความแตกต่างระหว่างน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานนั้นไม่มากถึงระดับ

นัยสำคัญกล่าวคือมีค่าร้อยละ 168.1^{bc} กับ 146.3^{cd} และ 252.3^{a} กับ 245.7^{a} ตามลำดับ การที่น้ำเสียชุมชนทำให้หญ้าสตาร์มีน้ำทั้งในพืชสดและพืชแห้งต่ำกว่าในน้ำชลประทานนั้นอาจเกิดจากลักษณะลำต้น ซึ่งมีขนาดใหญ่ แต่มีใบยาวเพียง 10-25 เซนติเมตรและกว้าง 4-7 เซนติเมตร (สายัณห์, 2547) แต่มีหน่วยพันธุกรรมที่สามารถเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่สังเคราะห์ที่ใบในรูปของเหลวให้เคลื่อนย้ายไปสร้างลำต้นซึ่งเป็นของแข็งได้เร็ว เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสียซึ่งผ่านการบำบัดโดย Facultative Anaerobes ได้เร็วกว่าจากน้ำชลประทาน ส่วนในหญ้าคาลล่าร์ซึ่งมีปรากฏการณ์ตรงกันข้ามกับหญ้าสตาร์ แต่เป็นเฉพาะในพืชสดนั้นอาจเกี่ยวข้องกับลักษณะใบของหญ้าคาลล่าร์นี้เป็นริ้วแคบๆ มีความกว้างเพียง 0.4-0.7 เซนติเมตร และมีความยาวผันแปรสูงมากในพิสัย 20-50 เซนติเมตร เมื่อหญ้าชนิดนี้ได้รับน้ำเสียซึ่งมีทั้ง Organic N และ P และเกิด Mineralization เป็น NH_4^+ และ $H_2PO_4^-$ โดยตรงและโดยอ้อมแล้วธาตุอาหารหลักทั้งสองนี้ก็จะถูกดูดเอาไปสร้างรากและสร้างใบโดยเฉพาะอย่างยิ่งใบจะยาวมากแต่อัตราการเปลี่ยนเป็นลำต้นอาจไม่เร็วเหมือนหญ้าสตาร์ดังที่กล่าวไว้แล้ว ทั้งคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ถูกสร้างขึ้นในรูปของเหลวจึงยังคงอยู่ที่ใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานเพราะหญ้าชนิดนี้มีความกว้างของใบไม่มากนัก เพียง 4 มิลลิเมตร ทั้งๆ ที่อาจผันแปรได้ 4-7 มิลลิเมตร แม้ระดับความยาวผันแปร 20-50 เซนติเมตรก็ตาม (สายัณห์, 2547) เพราะหญ้าชนิดนี้จะต้องรักษาใบไว้ให้ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง และเป็นไปได้ว่าไนโตรเจนจากต้นบางส่วนจะเคลื่อนย้ายมาที่ใบพืชเพื่อทำหน้าที่ดังกล่าวเพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ดี (Mobile Nutrients) (ไพบูลย์, 2540; Brady and Weil, 2002; Tisdale, 1965) ในบ่อน้ำเสียชุมชนจึงควรจะมีปริมาณน้ำในพืชสูงกว่าในน้ำชลประทาน

4.2.2 หลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย

ก. ผลผลิตและปริมาณน้ำในพืชที่ 6 สัปดาห์

ข้อมูลดิบทางด้านน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งของหญ้า ที่ระยะเวลา 6 สัปดาห์ รวมกับที่ 4 และ 8 สัปดาห์ โดยที่ระยะ 6 สัปดาห์นี้เป็นเวลาที่ใส่ปุ๋ยยูเรียแล้ว 2 สัปดาห์นั้นปรากฏอยู่ในตารางผนวกที่ 11-14 ที่ได้กล่าวถึงแล้วในเรื่องผลการศึกษาก่อนการใส่ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลอง แล้วได้แยกนำเสนอเฉพาะข้อมูลทางสถิติที่สำคัญของระยะเวลา 6 สัปดาห์ ไว้ในตารางที่ 46 โดยตารางที่ 46ก นำเสนอค่า F-values, MS Error และ CV(%) ของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งปริมาณน้ำในพืชสด และของพืชแห้งไว้ด้วยกัน ตารางที่ 46ข 46ค

และ 46ง เป็นการนำเสนออิทธิพลอิสระของชนิดน้ำและชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยของดัชนีทั้ง 4 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบปรากฏการณ์ที่สำคัญต่างๆ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 46 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อผลผลิต (กรัมต่อบ่อ) และปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชที่ 6 สัปดาห์

ก. F value MS error และ CV(%)

SOV	df	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
Water (W)	1	2547.6**	108.9**	3.5^{NS}	1.4^{NS}
MS Error a	2	82.7	111.3	13.7	1127.5
CV (a)		1.9	7.9	5.3	13.1
Plant (P)	2	15.9**	2.8^{NS}	11.5**	17.4**
W x P	2	0.5^{NS}	0.2^{NS}	0.2^{NS}	1.1^{NS}
MS Error b	8	11490.4	484.2	39.5	2269.2
CV (b)		22.1	16.4	9.0	18.5

ข. อิทธิพลของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยผลผลิต และปริมาณน้ำในพืช

แหล่งน้ำ	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
น้ำเสียชุมชน (W_1)	592.9^{a}	160.1^{a}	71.2^{a}	266.6^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)	376.6^{b}	108.2^{b}	67.9^{a}	247.6^{a}

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยผลผลิต และปริมาณน้ำในพืช

ชนิดพืช	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
หญ้าสตาร์ (P_1)	658.3^{a}	149.7^{a}	76.4^{a}	333.6^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	308.8^{c}	119.7^{a}	59.8^{b}	172.1^{c}
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	487.0^{b}	132.9^{a}	72.6^{a}	265.6^{b}

ตารางที่ 46 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยของผลผลิต และปริมาณน้ำในพืช

อิทธิพลร่วม	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
น้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	800.3[a]	171.8[a]	78.6[a]	366.2[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	393.7[bc]	149.6[ab]	62.3[bc]	165.7[d]
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	584.7[b]	159.0[a]	72.8[ab]	268.0[bc]
น้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	516.3[b]	127.7[a-c]	74.2[ab]	301.1[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	224.0[c]	90.1[c]	57.3[c]	178.5[cd]
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	389.3[bc]	106.9[bc]	72.3[ab]	263.2[bc]

1) การทดสอบความแตกต่าง

จากตารางที่ 46ก จะเห็นได้ชัดเจนว่าอิทธิพลของน้ำทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ความแตกต่างระกับนัยสำคัญยิ่งยัง พบได้ในอิทธิพลอิสระของชนิดพืช 3 ดัชนีที่ศึกษา คือ ทั้งปริมาณน้ำหนักสด ปริมาณน้ำในพืชสดและของแห้ง ส่วนดัชนีอื่นๆนั้นพบว่ามีความแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญ

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 46ข แสดงให้เห็นชัดเจนว่า น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีทำให้ผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและแห้งหญ้าโดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้านั้นสูงกว่าในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานอย่างเด่นชัด อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 46ก) กล่าวคือให้ผลผลิต 592.9[a] กับ 376.6[b] และ 160.1[a] กับ 108.2[b] กรัมต่อบ่อตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำในพืชซึ่งแตกต่างไม่ถึงระดับนัยสำคัญนั้นก็มีปริมาณน้ำในพืชสดร้อยละ 71.2[a] กับ 67.9[a] และของพืชแห้งร้อยละ 266.6[a] กับ 247.6[a] การเพิ่มขึ้นของผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ในบ่อที่ได้รับน้ำเสียหลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 9.63 กรัมไนโตรเจนต่อบ่อในทุกบ่อ รวมทั้งในบ่อที่ใช้น้ำชลประทานมาแล้ว 2 สัปดาห์นี้ เป็นเพราะรากของหญ้าอาหารสัตว์โดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้าในบ่อน้ำเสียได้รับไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถใช้

ประโยชน์ได้ ที่สูงกว่าจากบ่อที่ใช้น้ำชลประทานสะสมอยู่อีก 14,938 มิลลิกรัม/บ่อ จากผลต่างของ NH_4^+-N ก่อนใส่ และ NH_4^+-N Mineralized จาก Organic N ที่ใส่สะสมมาตั้งแต่รอบแรกอีก 1,803.26 มิลลิกรัม/บ่อ รวมเป็น 16,741.26 มิลลิกรัม/บ่อ Protonated Urea N ซึ่งใส่ลงไป 9,030 มิลลิกรัม/บ่อ ในทุกบ่อนี้จะกระจายอย่างสม่ำเสมอภายใน 10 เซนติเมตรแรกเท่านั้นไม่ควรจะซึมลงลึกกว่านั้น เพราะประจุบวกของ Proton ที่ติดแน่นอยู่กับ Urea นั้นจะถูกดูดยึดด้วยประจุลบของ Clay เพราะจะค่อยๆ ซึมลงไปในดินเนื่องจากมีการใส่หลังจากให้น้ำจากแหล่งน้ำทั้งสองแล้ว รากพืชที่รดด้วยน้ำชลประทานหลังจากได้รับปุ๋ยยูเรียนี้ไป 2 สัปดาห์แล้วควรจะแพร่กระจายไปในแนวนอนได้สมบูรณ์ แม้จะยังคงได้รับ NH_4^+-N จากน้ำชลประทานบ้างแต่ก็น้อยกว่าจากน้ำเสียชุมชนถึง 16,741.26 มิลลิกรัม/บ่อ ส่วนรากพืชในบ่อที่รดด้วยน้ำเสียชุมชนนั้นมีพัฒนาการของรากในแนวลึกดีกว่ามากมาตลอด จึงดูดใช้ Available N นี้ได้มากกว่าด้วยกลไก Contact Exchange ดังกล่าวแล้วทำให้เอาไปสร้างเซลล์ได้มากขึ้นๆ ต้นหญ้าจึงอวบอ้วนขึ้น แตกกอที่โคนต้นและ/หรือแตกแขนงตามข้อที่เพิ่มขึ้นตามความสูง สร้างใบได้มากขึ้นและใหญ่ขึ้น น้ำหนักสดจึงเพิ่มขึ้นจากเมื่อ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 45ข) ถึงวันละ 29.5 กรัมต่อบ่อ และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นวันละ 6.66 กรัมต่อบ่อ ในขณะที่ในบ่อที่ให้น้ำชลประทานแต่ก็ได้รับปุ๋ยยูเรียด้วยนั้นมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเพียงวันละ 16.6 กรัมต่อบ่อและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นวันละ 4.20 กรัมต่อบ่อ และเมื่อเปรียบเทียบตารางที่ 46ข นี้กับตารางที่ 45ข จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำทั้งในพืชสดและพืชแห้งที่ 6 สัปดาห์ นี้สูงกว่าที่ 4 สัปดาห์อย่างเด่นชัด กล่าวคือ ในพืชสดร้อยละ 71.2^a กับ 63.3^a และ 67.9^a กับ 64.9^a และร้อยละ 266.6^a กับ 182.1^a และ 247.6^a กับ 192.5^a ของพืชแห้ง ดังนั้นแสดงว่าเกิดมีการสร้างเซลล์ใหม่ๆ เกิดขึ้นมากมายหลังจากมีการใส่ปุ๋ยเมื่อเริ่มสัปดาห์ที่ 5 แล้ว Tissues และ Organs ใหม่ๆ จึงเกิดขึ้นเพราะเซลล์ใหม่ๆ จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า (สมบุญ, 2548) ปริมาณน้ำในพืชสดและพืชแห้งที่ได้รับน้ำต่างกันจึงไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 46ค แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งที่พบในปริมาณน้ำหนักสด ปริมาณน้ำในพืชสดและแห้ง (ตารางที่ 46ก) นั้น หญ้าสตาร์เจริญเติบโตได้ดีที่สุด คือทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดและแห้งสูงถึง 658.3^a และ 149.7^a กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ หญ้าคาลล่าร์ให้น้ำหนักสดต่ำที่สุดคือ 308.8^c กรัมต่อบ่อและน้ำหนักแห้งแห้งต่ำสุดเช่นกันคือ 119.9^b กรัมต่อบ่อ ขณะที่หญ้าอุบลพาสพาลัมให้น้ำหนักสดปานกลางคือ 487.0^b กรัมต่อแปลง แต่น้ำหนักแห้งนั้นไม่แตกต่างกับหญ้าสตาร์คือ 132.9^a กรัมต่อบ่อ ส่วนปริมาณน้ำในพืชนั้นหญ้าสตาร์มีปริมาณน้ำในพืช

สด 76.4[a] เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำของพืชแห้งร้อยละ 333.7[a] ซึ่งสูงที่สุดทั้งสองดัชนี ในขณะที่หญ้าคาลล่าร์นั้นมีปริมาณน้ำในพืชต่ำที่สุดทั้งปริมาณน้ำในพืชสด (59.8[b]) และของพืชแห้ง (172.1[c]) ส่วนหญ้าอุบลพาสพาลัมนั้นมีปริมาณน้ำในพืชสดไม่แตกต่างทางสถิติกับหญ้าสตาร์ (ร้อยละ 72.6[a] กับ 76.4[a] ตามลำดับ) แต่มีปริมาณน้ำของพืชแห้งปานกลางคือร้อยละ 265.6[b] เมื่อนำเอาตารางที่ 46ค นี้มาเปรียบเทียบกับตารางที่ 45ค จะพบว่า หญ้าสตาร์ตอบสนองต่อปุ๋ยยูเรียและ NH_4^+-N ในดินที่เพิ่มขึ้นในรูปของผลผลิตน้ำหนักสด 31.7 กรัมต่อวันต่อบ่อและปริมาณน้ำในพืชแห้ง 12.7 ร้อยละต่อวันต่อบ่อสูงที่สุด หญ้าอุบลพาสพาลั่มที่ได้รับสิ่งแวดล้อมทางด้านปริมาณ available N ที่ดีขึ้น ตอบสนองด้วยการผลิตน้ำหนักแห้ง 6.04 กรัมต่อวันต่อบ่อ ได้ดีกว่าหญ้าสตาร์ (4.52 กรัมต่อวันต่อบ่อ) เล็กน้อย แต่ด้อยกว่าหญ้าสตาร์ในด้านการผลิตน้ำหนักสด (22.7 กับ 31.7 กรัมต่อวันต่อบ่อ) และปริมาณน้ำในพืชแห้ง (ร้อยละ 1.16 กับ 12.7 ต่อวันต่อบ่อ) ตามลำดับ ส่วนหญ้าคาลล่าร์นั้นตอบสนองต่อ available N ในทุกตัวชี้วัดได้ต่ำที่สุดทั้งๆ ที่มีใบที่ยาวกว่าแต่เรียวกว่าหญ้าชนิดอื่นมาก อนึ่งขอตั้งข้อสังเกตว่าพัฒนาการของรากหลังจากได้รับปุ๋ยยูเรียที่มีการเติมโปรตอนของหญ้าทั้งสามชนิดอาจแตกต่างกันกล่าวคือ หญ้าสตาร์ซึ่งน่าจะดีที่สุดอยู่แล้วก่อนมีการใส่ปุ๋ยนั้นพัฒนาการของรากในแนวลึกอาจอยู่ในอันดับที่หญ้าสตาร์มากกว่าหญ้าอุบลพาสพาลั่มและมากกว่าหญ้าคาลล่าร์อยู่แล้วเพราะทำให้มีอันดับของน้ำหนักสดเหมือนกัน เมื่อรากพืชได้รับปุ๋ยจึงนำไปสร้างรากและสร้างใบได้อย่างรวดเร็วและทำให้รากดูดใช้ NH_4^+-N ได้มากกว่าตามไปด้วย ซึ่งจะสังเกตได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลในตารางที่ 45ค กับ 46ค นี้จะพบว่า การมีปริมาณน้ำในพืชสดและปริมาณน้ำในพืชแห้งสูงที่สุดของหญ้าสตาร์นั้นแสดงว่า เมื่อได้รับปุ๋ยยูเรียแล้ว น่าจะส่งผลให้หญ้าชนิดนี้มีความอวบน้ำสูงที่สุดและน่าจะทำให้มีผนังเซลล์บางที่สุดด้วย และน่าจะมีความสัมพันธ์บางประการกับปริมาณ N ในพืชด้วย ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยของผลผลิตและปริมาณน้ำในพืช ซึ่งจากตารางที่ 46ก แม้จะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของผลผลิตทั้งในน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง แต่จากตารางที่ 46ง จะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างทางสถิติในปริมาณของผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณ (ร้อยละ) ของน้ำในพืชสดและของพืชแห้งนั้นแตกต่างกันทางสถิติ เพราะมีความแตกต่างทางสถิติเกิดขึ้นในอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำและของชนิดพืชสำหรับผลผลิตพืชสด และมีความแตกต่างเฉพาะอิทธิพลอิสระของชนิดพืชสำหรับปริมาณน้ำในพืชทั้งสองดัชนีเช่นเดียวกัน การที่ไม่เกิดอิทธิพลร่วมในระดับนัยสำคัญขึ้นในนั้นสามารถสังเกตได้จากการไม่พบ

แนวโน้มของการขนานกันของเส้นเชื่อมระหว่างค่าเฉลี่ยของดัชนีทั้ง 4 ในชนิดของพืชทั้ง 3 น้ำเสียแสดงอิทธิพลของแหล่งน้ำทำนองกันกับที่กล่าวไว้ตอนต้นและ/หรือโดยการติดตามอันดับของความแตกต่าง ซึ่งพบว่าอันดับของผลผลิตพืชสดเฉลี่ยทั้งใน W_1 และ W_2 เหมือนกันคือ $P_1 = P_3 \approx P_2$ แต่ทั้งผลผลิตสดและแห้งนี้ ส่วนของ $W_1 > W_2$ อย่างชัดเจน สำหรับอันดับของปริมาณน้ำในพืชสดเฉลี่ยใน W_1 และ W_2 คล้ายคลึงกันมากคือ $P_1 \approx P_3 \approx P_2$ และ $P_1 = P_3 > P_2$ สำหรับอันดับของปริมาณน้ำของพืชแห้งเฉลี่ยใน W_1 และ W_2 เกิดคล้ายคลึงกันคือ $P_1 > P_3 > P_2$ และ $P_1 = P_3 > P_2$ ตามลำดับ แต่สำหรับปริมาณน้ำในพืชนี้ทั้ง W_1 และ W_2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้ง 2 ดัชนี ผลการทดลองในตารางที่ 44ง นี้ชี้ให้เห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ย protonated urea ร่วมกับปริมาณ available NH_4-N ใน W_1 ซึ่งสูงกว่า W_2 นั้นมิได้ส่งเสริมให้หญ้าอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่งเจริญเติบโตได้ดีเป็นพิเศษจนวัดได้ด้วยค่าเฉลี่ยของดัชนีทั้ง 4 นี้ได้หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สิ่งแวดล้อมทางด้าน NH_4-N นี้ไม่สามารถเอาชนะพันธุกรรมของหญ้าบางชนิดสำหรับดัชนีทั้ง 4 นี้ได้ ส่วนความแตกต่างในอิทธิพลของ W_1 และ W_2 และ P_1 - P_3 นั้นได้อธิบายไว้ชัดเจนในอิทธิพลอิสระแล้ว

ข. ผลผลิตและปริมาณน้ำในพืชที่ 8 สัปดาห์

ตารางผนวกที่ 11 12 14 และ 15 แสดงข้อมูลดิบทางด้านน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งของหญ้าที่ระยะเวลา 8 สัปดาห์ ร่วมกับที่ระยะ 4 และ 6 สัปดาห์ที่ได้อธิบายเรียบร้อยแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลอง แล้วได้แยกนำเสนอเฉพาะข้อมูลทางสถิติที่สำคัญของระยะเวลา 8 สัปดาห์ ไว้ในตารางที่ 47 โดยตารางที่ 47ก นำเสนอค่า F-values, MS error และ CV(%) ของน้ำหนักสด วัตถุแห้งปริมาณน้ำในพืชสด และปริมาณน้ำในพืชแห้งไว้ด้วยกัน ตารางที่ 47ข และ 47ค เป็นการนำเสนออิทธิพลอิสระของชนิดน้ำและชนิดพืชที่มีต่อดัชนีทั้ง 4 ตามลำดับ ส่วนตารางที่ 47ง เป็นการนำเสนออิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบปรากฏการณ์ที่สำคัญต่างๆ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 47 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อผลผลิต (กรัมต่อบ่อ) และปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชที่ 8 สัปดาห์

ก. F value MS error และ CV(%)

SOV	df	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
Water (W)	1	269.9**	241.7**	71.3*	162.5**
MS Error a	2	2150.1	72.5	2.4	98.2
CV (a)		6.1	4.1	2.2	3.8
Plant (P)	2	1.4^{NS}	3.1^{NS}	12.9**	20.0**
W x P	2	1.1^{NS}	2.3^{NS}	2.4^{NS}	1.7^{NS}
MS Error b	8	28,631.2	749.0	15.3	1260.1
CV (b)		22.1	13.0	5.5	13.5

ข. อิทธิพลของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยผลผลิต และปริมาณน้ำในพืช

แหล่งน้ำ	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
น้ำเสีย (W_1)	944.6^a	241.5^a	74.0^a	292.3^a
น้ำชลประทาน (W_2)	585.5^b	179.1^b	67.9^b	227.6^b

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยผลผลิต (กรัมต่อบ่อ) และปริมาณน้ำในพืช (ร้อยละ)

ชนิดพืช	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
หญ้าสตาร์ (P_1)	796.5^a	228.9^a	70.8^b	245.9^b
หญ้าคาลลาร์ (P_2)	670.9^a	212.0^a	65.3^c	202.5^c
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	827.5^a	189.8^a	76.7^a	331.3^a

ตารางที่ 47 (ต่อ)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยของผลผลิต และปริมาณน้ำในพืช

อิทธิพลร่วม	ผลผลิต		ปริมาณน้ำ	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ในพืชสด	ของพืชแห้ง
น้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	901.7^{ab}	242.0^{a}	73.2^{ab}	272.8^{bc}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	923.3^{ab}	258.1^{a}	71.1^{ab}	254.1^{bc}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	1008.7^{a}	224.2^{a}	77.8^{a}	349.8^{a}
น้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	691.3^{a-c}	216.0^{ab}	68.5^{bc}	219.1^{c}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	418.7^{c}	166.0^{bc}	59.4^{c}	150.8^{d}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	646.3^{bc}	155.3^{c}	75.7^{ab}	312.8^{ab}

1) การทดสอบความแตกต่าง

จากตารางที่ 47ก จะเห็นได้ชัดเจนว่าอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ ทำให้ผลผลิตน้ำหนักสด และแห้ง และปริมาณน้ำของพืชแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนปริมาณน้ำในพืชสดพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งพบได้เฉพาะในอิทธิพลอิสระของชนิดพืชทั้งในปริมาณน้ำทั้งในพืชสดและของพืชแห้ง แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและวัตถุแห้งเช่นเดียวกับอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองทั้ง 4 ดัชนี

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 47ข แสดงให้เห็นชัดเจนว่า น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีทำให้ผลผลิตทั้งปริมาณน้ำหนักสดและวัตถุแห้ง และปริมาณน้ำในพืชแห้งของหญ้าโดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้านั้นสูงกว่าในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานอย่างเด่นชัด กล่าวคือให้น้ำหนักสด วัตถุแห้ง ปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้ง 944.6^{a} กับ 585.5^{b} และ 241.5^{a} กับ 179.1^{b} กรัมต่อบ่อ ร้อยละ 74.0^{a} กับ 67.9^{b} และ 292.3^{a} กับ 227.6^{b} ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในตารางที่ 47ก กับ 46ก จะเห็นได้ชัดเจนว่าความแตกต่างของแหล่งน้ำที่มีต่อผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและแห้งยังคงสูงถึงระดับนัยสำคัญยิ่งเหมือนเดิม ส่วนปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งกลับแตกต่างชัดเจนที่ระดับ

นัยสำคัญและสำคัญยิ่งตามลำดับ ในขณะที่เมื่อ 6 สัปดาห์นั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ การที่น้ำเสียยังคงทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นนี้ก็เป็นเพราะผลต่างของ NH_4-N เฉพาะที่มาจากน้ำสะสมมาจนถึงสัปดาห์ที่ 8 นี้ที่สูงถึง 21,562.68 มิลลิกรัม/บ่อ (ตารางที่ 42) ซึ่งทำให้พืชดูดเอามาใช้สร้างความเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน กล่าวคือทำให้ลำต้นอวบอ้วนขึ้นมีจำนวนแขนงที่แตกจากโคนต้นและ/หรือที่แตกตามข้อมากขึ้น โดยมิได้ทำให้ความสูงซึ่งวัดจากความยาวของใบที่ยาวที่สุดโดยรวบยอดขึ้นไปแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 40) แน่นอนการพบว่าน้ำเสียชุมชนทำให้ปริมาณน้ำในพืชทั้งสดและแห้งสูงกว่าน้ำชลประทานนี้ แสดงว่าปุ๋ยยูเรียที่ใส่ลงไป 9,630 มิลลิกรัมต่อบ่อในทุกบ่อ ซึ่งทำให้เกิดพัฒนาการของรากลงไปในแนวลึกด้วย แต่ลงไปในบ่อที่ให้น้ำเสียได้ลึกกว่ามากเพราะมีผลต่างสะสมสูงมากดังกล่าวแล้ว ทำให้เกิดการสร้างเซลล์ใหม่ๆ ขึ้นมากกว่าเมื่อ 6 สัปดาห์ เมื่อเอาค่าเฉลี่ยในตารางที่ 45ข , 46ข และ 47ข มาพิจารณาจะได้ข้อมูลที่น่าสนใจมากคือ พบว่าใน 2 สัปดาห์แรกหลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย (สัปดาห์ที่ 4-6) อัตราเพิ่มของผลผลิตน้ำหนักสดสูงมากถึง 29.5 และ 16.6 มิลลิกรัมต่อบ่อต่อวัน ในบ่อที่ให้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานตามลำดับ แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 นั้นอัตราเพิ่มลดลงเล็กน้อยมาอยู่ที่ 25.1 และ 14.9 มิลลิกรัมต่อบ่อตามลำดับ ส่วนผลผลิตน้ำหนักแห้งอัตราเพิ่มในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 และ 6-8 ของอิทธิพลของน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานจะอยู่ในอัตรา 6.66 กับ 5.81 และ 4.20 กับ 5.06 มิลิกรัม/บ่อ/วัน ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของอัตราเพิ่มของปริมาณความชื้นในพืชสดในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 กับ 6-8 ในน้ำเสียชุมชนกับน้ำชลประทาน ซึ่งมีอัตราร้อยละ 0.56 กับ 0.20 และ 0.21 กับ 0 ต่อวัน ในขณะที่อัตราเพิ่มของปริมาณน้ำของพืชแห้งอัตราร้อยละ 6.04 กับ 1.84 และ 3.94 กับ -1.43 ต่อวันตามลำดับนั้นแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหญ้าอาหารสัตว์ ในน้ำชลประทานนั้นพืชจะแก่เร็วกว่าในน้ำเสียชุมชน เพราะในน้ำชลประทานมี Organic N น้อยกว่ามาก จึงได้ Available N เฉพาะจากปุ๋ยยูเรียตามกลไกในแนวนอนเกือบทั้งหมดและควรจะถูกใช้ไปจนหมดแล้ว อนึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าใน 2 สัปดาห์หลังจากการใส่ปุ๋ยยูเรียนี้มีการลดน้อยถอยลงของอัตราเพิ่มของผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งหลังจากการใส่ปุ๋ยยูเรียจากช่วง 2 สัปดาห์แรกแล้วมายังช่วง 2 สัปดาห์หลังในบ่อที่ใช้น้ำเสียชุมชนนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดเซลล์ใหม่ๆ และพัฒนาต่อไปเป็นเนื้อเยื่อและส่วน (อวัยวะ) ของพืชใหม่ๆ นั้น เพิ่มขึ้นด้วยอัตราลดลง การเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดน้ำหนักแห้งซึ่งสวนทางกับการลดลงของอัตราเกิดน้ำหนักสดของหญ้าอาหารสัตว์ในบ่อที่ชั้นน้ำชลประทานนั้นยืนยันได้ว่าพืชที่ได้รับน้ำชลประทานนั้นแก่เร็วกว่าเมื่อใช้น้ำเสียชุมชน ทั้งนี้เพราะปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ประโยชน์ไว้ในดินที่ได้รับน้ำชลประทานนี่ต่ำกว่าจากน้ำเสียชุมชนมาก พัฒนาการของรากในแนวนอนของหญ้าอาหารสัตว์หลังจากได้รับการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่แรกแล้วจะเป็นไปอย่างรวดเร็วใน 2 สัปดาห์แรก ส่งผลให้ผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งดังได้กล่าวแล้ว แต่พัฒนาการ

ของรากในแนวลึกในน้ำชลประทานนี้ด้อยกว่าในน้ำเสียชุมชนมากเพราะขาดไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในแนวลึกนั่นเอง การมากกว่าของปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งไม่ว่าจะที่ 4 และ 6 สัปดาห์ในบ่อที่ให้น้ำเสียชุมชนยืนยันการเกิดเซลล์ใหม่ๆ Tissue ใหม่ๆ และ Organs ใหม่ๆ ได้เป็นอย่างดีเพราะเซลล์ใหม่ๆ จะเป็นเซลล์ที่อวบน้ำ มีผนังเซลล์บาง และมีรูปร่างคล้ายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่ถ้าเซลล์มีอายุมากขึ้น จะแปรเปลี่ยนรูปร่างเป็นยาวขึ้นๆ และมีผนังเซลล์หนาขึ้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในบ่อที่ให้น้ำชลประทานโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ปริมาณน้ำของพืชแห้งเป็นดัชนี ซึ่งลดลงจากช่วงสัปดาห์ที่ 6 มาที่ 8 ด้วยอัตราร้อยละ 1.43 ต่อวัน

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 47ค แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งที่พบเฉพาะในปริมาณน้ำในพืชสดและแห้ง (ตารางที่ 47ก) นั้นหญ้าอุบลพาสพาลัมมีปริมาณน้ำในพืชสด และของพืชแห้งสูงที่สุดคือ ร้อยละ 76.7^{a} และ 331.3^{a} ตามลำดับ ในขณะที่หญ้าสตาร์นั้นมีปริมาณน้ำในพืชรองลงมาโดยมีปริมาณน้ำในพืชสดและพืชแห้งร้อยละ 70.8^{b} และ 245.9^{b} ตามลำดับ ส่วนหญ้าคาลล่าร์นั้นมีปริมาณน้ำในพืชสดและพืชแห้งต่ำสุดร้อยละ 65.3^{c} และ 202.5^{c} ตามลำดับ ส่วนผลผลิตน้ำหนักสดและแห้งนั้น หญ้าทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือให้ผลผลิตอยู่ในพิสัย 670.9-827.5 กับ 189.8-228.9 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ เหตุที่ทำให้ผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและแห้งของหญ้าทั้งสามชนิดนี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งๆแตกต่างกันอย่างเด่นชัดทางสถิติเมื่ออายุ 6 สัปดาห์ กล่าวคือ ผลผลิตน้ำหนักสด (กรัมต่อบ่อ) ของหญ้าอยู่ในอันดับ $P_1(658.3^{a}) > P_3(487.0^{b}) > P_3(308.8^{c})$ (ตารางที่ 46) นั้นน่าจะเกี่ยวข้องกับพัฒนาการของรากดังที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางดีสำหรับหญ้าคาลล่าร์และหญ้าอุบลพาสพาลั่ม กล่าวคือ ธาตุอาหารต่างๆ ที่หญ้าทั้งสองชนิดนี้ดูดสะสมไว้ตลอด 2 สัปดาห์แรกหลังจากการใส่ปุ๋ยยูเรียที่มีการเติมโปรตอนและการกระจายตัวอยู่บนดินชั้นบนนั้นได้ส่งเสริมให้พัฒนาการของรากหญ้าในแนวลึกฟื้นตัวขึ้นมาอยู่ในอันดับที่หญ้าคาลล่าร์มากกว่าหญ้าอุบลพาสพาลั่ม จนสามารถดูดใช้ NH_4^+-N ซึ่ง Mineralized แล้วสะสมอยู่ภายในดินโดยถูก Clay ดูดยึดไว้ ส่วนหญ้าสตาร์นั้นระบบรากได้พัฒนามาในแนวลึกจนลึกที่สุดแล้ว (30 เซนติเมตร) ทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดที่ 8 สัปดาห์นี้เท่าเทียมกันในหญ้าทั้งสามชนิด เมื่อนำเอาข้อมูลจากตารางที่ 46ค กับ 47ค มาเปรียบเทียบกันก็จะพบได้ว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักสดของหญ้า (กรัมต่อวันต่อบ่อ) 2 สัปดาห์หลังจากใส่ปุ๋ยแต่งหน้าแล้ว อยู่ในอันดับหญ้าคาลล่าร์ (25.9) ≈ หญ้าอุบลพาสพาลัม (24.3) > หญ้าสตาร์ (9.9) นอกจากพัฒนาการของรากขยายตัวลงมาในแนวลึกหลังการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าแล้วของหญ้าคาลล่าร์ซึ่งคาดว่าจะลึกกว่าหญ้าอุบลพาสพาลัมแล้ว ลักษณะของ

ผนังเซลล์ของหญ้าทั้งสองชนิดนี้ทั้งของต้นและใบยังแตกต่างกันจนทำให้ปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งแตกต่างกันด้วย แต่ในลักษณะตรงกันข้ามกับพัฒนาการในแนวลึก กล่าวคือผนังเซลล์ของใบของหญ้าคาลล่าร์นี้จะหนาและมีไขมันเคลือบมากกว่าหญ้าอุบลพาสพาลัม ปริมาณน้ำทั้งในพืชสดและของพืชแห้งของหญ้าอุบลพาสพาลัมจึงสูงกว่าในหญ้าคาลลาร์ซึ่งเป็นหญ้าที่มีปริมาณน้ำของทั้งพืชสดและแห้งต่ำที่สุด ปริมาณน้ำในพืชสดและของพืชแห้งของหญ้าสตาร์อยู่ในปริมาณปานกลางเพราะมีพัฒนาการของรากในแนวลึกมาดีกว่าหญ้าชนิดอื่นๆ อยู่แล้วจึงสร้างเซลล์ได้เร็วและมากในระยะแรกๆ จนเต็มศักยภาพของพืชนี้ และเซลล์เหล่านั้นยังแก่เร็วกว่าหญ้าอุบลพาสพาลัม แต่คงจะมีผนังเซลล์ทั้งของใบและลำต้นยาวกว่าของหญ้าคาลลาร์จึงยังคงไม่แก่เต็มที่ในช่วงของการทดลองนี้

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ตารางที่ 47ง แสดงให้เห็นว่าแม้อิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำและของพืชต่อดัชนีทั้ง 4 จะไม่สูงถึงระดับนัยสำคัญ แต่ก็พบความแตกต่างทางสถิติในระหว่างค่าเฉลี่ยของทั้ง 6 หน่วยทดลองได้เพราะมีความแตกต่างในอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำสำหรับเรื่องผลผลิต และมีความแตกต่างในอิทธิพลอิสระของทั้งแหล่งน้ำและชนิดพืชในเรื่องของปริมาณน้ำ ทิศทางความแตกต่างระหว่าง W_1 และ W_2 กลับคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ $P_3 \approx P_2 \approx P_1$ กับ $P_1 \approx P_3 \approx P_2$ ในเรื่องน้ำหนักสด $P_1=P_2=P_3$ กับ $P_1 \approx P_2 \approx P_3$ ในเรื่องน้ำหนักแห้ง $P_3 \approx P_1 \approx P_2$ กับ $P_3 \approx P_1 \approx P_2$ ในเรื่องปริมาณน้ำในพืชสดและ $P_3 > P_1 \approx P_2$ กับ $P_3 > P_1 > P_2$ ในเรื่องปริมาณน้ำของพืชแห้ง ความแตกต่างเพียงเล็กน้อยภายในแหล่งน้ำมิได้มีอิทธิพลเพียงพอให้เกิดอิทธิพลร่วมได้ กล่าวโดยสรุปคือ ปริมาณไนโตรเจนที่มีประโยชน์ที่สูงกว่าในน้ำเสียชุมชนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำชลประทานมิได้ทำให้มีอิทธิพลเหนือกว่าพันธุกรรมของหญ้าชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นพิเศษเลย

5. ความเข้มข้นและการดูดใช้ไนโตรเจนของหญ้าอาหารสัตว์

น้ำเสียชุมชนย่อมจะต้องมีโปรตีนปนอยู่ด้วยเสมอ และโปรตีนก็จะต้องมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ 16% สารอินทรีย์ไนโตรเจนนี้จะถูก Facultative Anaerobic ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบดินเปียกสลับแห้งนี้เปลี่ยนให้กลายเป็น NH_4^+-N ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งพืชที่ใช้ในการทดลองนี้ก็แสดงให้เห็นชัดเจนว่าเจริญเติบโตดีขึ้นทั้งในรูปของความสูงและผลผลิตน้ำหนักสดและแห้งดังได้กล่าวแล้ว เพราะ NH_4^+-N ที่ถูกดูดเข้าไปในต้นพืชจะถูกเปลี่ยนไปเป็น

โปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลล์ แล้วจะพัฒนาต่อไปเป็น Tissue และ Organs ต่างๆ ดังได้กล่าวแล้ว ดังนั้นจึงสมควรอย่างยิ่งที่นักสิ่งแวดล้อมจะได้ทราบความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนในพืชแห้งและปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดดึงเอาไปสร้างส่วนเหนือดินหรือที่เรียกง่ายๆ การดูดใช้ว่าได้มากน้อยเพียงใดด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาขึ้น โดยขอแยกนำเสนอข้อมูลก่อนและหลังการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าออกจากกันทำนองเดียวกันกับที่กล่าวแล้วในเรื่องการเจริญเติบโตและผลผลิตดังนี้

5.1 ก่อนใส่ปุ๋ยยูเรีย

ตารางผนวกที่ 15 และ16 แสดงข้อมูลดิบทางด้านความเข้มข้นและการดูดใช้ไนโตรเจนของหญ้าอาหารสัตว์ ที่ระยะเวลา 4 6 และ 8 สัปดาห์เอาไว้ด้วยกันตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแล้วได้เลือกเอาเฉพาะข้อมูลทางสถิติที่สำคัญของระยะก่อนใส่ปุ๋ยยูเรีย (ที่ระยะ 4 สัปดาห์) มานำเสนอไว้ในตารางที่ 48 โดยตารางที่ 48ก นำเสนอค่า F-values, MS error และ CV(%) ของทั้งความเข้มข้นและการดูดใช้ ตารางที่ 48ข 48ค และ 48ง เป็นการนำเสนออิทธิพลอิสระของชนิดน้ำและชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบปรากฏการณ์ที่สำคัญต่างๆ ดังนี้ คือ

1) การทดสอบความแตกต่าง

จากตารางที่ 48ก จะเห็นได้ชัดเจนว่าอิทธิพลอิสระของทั้งแหล่งน้ำและชนิดพืชทำให้ทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่ความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งนี้ยังพบได้ในอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง สำหรับความเข้มข้นเท่านั้น สำหรับการดูดใช้ไม่พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 48 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ก่อนใส่ปุ๋ยยูเรีย

ก. ค่า F value MS error และ CV (ร้อยละ)

SOV	df	ความเข้มข้น	การดูดใช้
Water (W)	1	140.59**	818.02**
MS Error a	2	0.003	392.17
CV (a)		7.55	4.76
Plant (P)	2	9.43**	156.17**
W x P	2	9.35**	0.46NS
MS Error b	8	0.01	564.44
CV (b)		11.71	5.71

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและการดูดใช้

แหล่งน้ำ	ความเข้มข้น	การดูดใช้
น้ำเสีย (W_1)	0.885[a]	550[a]
น้ำชลประทาน (W_2)	0.576[b]	283[b]

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและการดูดใช้

SOV	ความเข้มข้น	การดูดใช้
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.638[b]	556[a]
หญ้าคาลลาร์ (P_2)	0.848[a]	345[b]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	0.705[b]	348[b]

ตารางที่ 48 (ต่อ)

ง) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความเข้มข้นและการดูดใช้

SOV	ความเข้มข้น	การดูดใช้
น้ำเสียชุมชน (W_1)		
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.677^{c}	693^{a}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.097^{a}	483^{b}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	0.881^{b}	474^{b}
น้ำชลประทาน (W_2)		
หญ้าสตาร์ (P_1)	0.600^{c}	420^{c}
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	0.599^{c}	206^{d}
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	0.530^{c}	222^{d}

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 48ข แสดงให้เห็นชัดเจนว่า น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีทำให้ทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ของหญ้าโดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้านั้นสูงกว่าในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานอย่างเด่นชัด กล่าวคือให้ทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) เท่ากับร้อยละ 0.885^{a} กับ 0.576^{b} และ 554^{a} กับ 282^{b} ตามลำดับ การที่น้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีทำให้หญ้าอาหารสัตว์ทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) สูงกว่าบ่อที่ใช้น้ำชลประทานนั้นยืนยันสมมติฐานที่ตั้งไว้และอธิบายโดยละเอียดไว้แล้วในเรื่องของความสูงและผลผลิต กล่าวคือ NH_4^+-N ซึ่ง Mineralized มาจาก Organic N ซึ่งเป็นมลสารหลักในน้ำเสียชุมชนทั้งโดยตรงและโดยอ้อมนั้นจะทำให้หญ้าสร้างรากได้มากขึ้นแล้วจึงสร้างใบให้ยาวขึ้นและกว้างขึ้น สร้างคลอโรฟิลด์ได้มากขึ้นทำให้สามารถทำการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น และดูด NH_4^+-N ได้มากขึ้นๆ ทำให้สามารถสร้างทั้งส่วนที่เป็นลำต้นและใบได้มากขึ้นๆ การเพิ่มของคลอโรฟิลด์ในหญ้าที่ได้รับน้ำเสียนี้เองที่ทำให้ทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) เพิ่มขึ้น เพราะทุกๆ โมเลกุลของคลอโรฟิลด์จะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 70 เปอร์เซ็นต์ (Salisbury and Ross, 1969) การอวบอ้วนขึ้นของลำต้นของหญ้าที่ได้รับน้ำเสียนั้นนอกจากจะทำให้ปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้นเพราะเมื่อจำนวนเซลล์มากขึ้น ปริมาณผนังเซลล์ก็จะต้องเพิ่มขึ้นด้วยและอาจทำให้มีคลอโรฟิลด์สูง

กว่าหญ้าที่ปลูกในบ่อที่ใช้น้ำชลประทานด้วยเพราะมีลำต้นที่เป็นสีเขียวมากกว่า การที่หญ้าที่ปลูกในบ่อที่ใช้น้ำชลประทานมีสีเขียวน้อยกว่าอย่างชัดเจนนี้น่าจะเกิดจากการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนในลำต้นของหญ้าบางส่วนไปไว้ที่ใบ โดยเหลือไว้เพียงเพื่อการยังชีพของหญ้าเท่านั้นนั้นควรจะเป็นไปได้ เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในต้นพืช (คณาจารณ์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) การที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน (ร้อยละ) ก่อนใส่ปุ๋ยยูเรียต่ำมากนี้ทั้งจากบ่อที่ใช้น้ำเสีย (0.885[a]) และน้ำชลประทาน (0.576[b]) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นปริมาณโปรตีนดิบได้ร้อยละ 5.5 และ 3.6 ตามลำดับนั้น ล้วนต่ำกว่ามาตรฐานขั้นต่ำเพื่อการยังชีพของสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของ Walton (1984) มาก ทั้งนี้เป็นเพราะต้นกล้าน่าจะขาดไนโตรเจนรุนแรงมาก เนื่องจากเพาะชำในทรายซึ่งไม่ควรจะมีธาตุอาหารใดๆ แต่น่าเสียดายที่ผู้วิจัยมิได้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารพืชใดๆในท่อนพันธุ์หญ้า แต่คาดว่าน่าจะมีไม่มากนักและคงไม่ต่างจากรากหญ้าในแปลงที่ให้น้ำชลประทานมากนักแม้ว่ากล้าของต้นหญ้าอาจได้ธาตุอาหารเพียงเล็กน้อยจากน้ำประปาที่ใช้รดประมาณ 30 วัน กล้าต้นหญ้าทุกบ่อที่ได้รับ available N จากดินในขณะอนุบาลเป็นเวลา 2 สัปดาห์และจากน้ำที่ให้ 4 ครั้งๆ ละ 140 ลิตรก็ตามเพราะพัฒนาการของรากในบ่อที่ได้น้ำชลประทานนี้น่าจะน้อยมาก เมื่อพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนที่หญ้าดูดดึงมาสร้างส่วนเหนือดินของหญ้า โดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้าซึ่งมีค่าเฉลี่ย 550 และ 283 มิลลิกรัม/บ่อ และจะเห็นได้ว่าหญ้าในน้ำเสียชุมชนสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้ดีกว่าจากน้ำชลประทานเพียงเล็กน้อยคือเพียง 550 - 283 หรือเพียง 267 มิลลิกรัมต่อบ่อ ทั้งๆที่มีผลต่างของปริมาณ TKN สะสม 21,112 มิลลิกรัม/บ่อ (ใช้ข้อมูลตารางที่ 40 มาคำนวณเพิ่มเติมคือ 4,718 + 5,348 + 5,600 + 5,446) หรือถูกดูดเอามาได้เพียง 267 × 100 / 21,112 = 1.3 % เท่านั้น ทั้งนี้เพราะใน TKN นี้จะมี organic N เป็นองค์ประกอบหลัก แต่เมื่อประเมินประสิทธิภาพในการดูดดึงไนโตรเจนจากผลต่างของปริมาณ available N สะสมซึ่งมีอยู่สูงถึง 11,221 มิลลิกรัม/บ่อ (ตารางที่ 41) ก็พบว่ามีประสิทธิภาพต่ำมากคือเพียงร้อยละ 2.4 เท่านั้น การดูดใช้ available N ที่มาจากน้ำเสียชุมชนได้น้อยมากนี้ น่าจะเกิดจากการขาดไนโตรเจนและธาตุอาหารอื่นๆในท่อนพันธุ์ทำให้พัฒนาการของรากของกล้าหญ้าก่อนย้ายลงปลูกในดินแต่ละบ่อไม่ดี แม้จะได้รับ TKN ที่มีผลต่างสูงถึง 21,112 และมีผลต่างของ available N (NH_4^+-N) สูงถึง 11,221 มิลลิกรัม/บ่อ หรือสูงถึง 53.1 เปอร์เซ็นต์ ก็ตามเพราะ organic N จากน้ำนั้นควรกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดชั้นความลึกของดิน 28 เซนติเมตร แม้ NH_4^+-N จากน้ำก่อนใส่จะสูงมากและควรจะกระจายอยู่ในดินชั้นบนๆ เพราะมีประจุบวกที่เกิดจาก protonation เมื่อแทรกซึมลงมาตาม macropore จนอิ่มตัวและระดับน้ำขังอยู่ 10 เซนติเมตรไม่แตกต่างกัน คือประมาณ 30 60 180 และ 1,800 นาที เมื่อใส่น้ำในรอบที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังได้กล่าวแล้วในตอนต้น ขณะที่การแทรกซึมของน้ำลงในแนวดิ่งชะลอตัวลงน้ำส่วนหนึ่งก็จะแทรกซึมเข้าไปในแนวนอนเข้าไปอยู่ใน micropore และจะถูกทั้ง clay และ humus ซึ่งมี

ประจุลบดูดยึดเอาไว้ NH_4^+-N จากน้ำที่ใส่โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากน้ำเสียชุมชนจึงสูงกว่าที่ก้นบ่อก็ตาม แต่ปริมาณดินที่มีมากถึงบ่อละ 225 กิโลกรัม ตลอดความสูง 28 เซนติเมตร ยังทำให้แต่ละเซนติเมตรของความลึกจะมีมวลดินสูงถึง 8 กิโลกรัม ความเข้มข้นของ available N จึงเจือจางลงมาก พัฒนาการของรากในแนวลึกหลังจากได้รับน้ำเสียและน้ำชลประทานแล้วตลอด 4 สัปดาห์นี้ จึงไม่ควรจะมากนักและพัฒนาการของรากในแนวนอนก็คงจะยังไม่แผ่เต็มบ่อ ประสิทธิภาพของการดูดใช้ NH_4^+-N จึงมีค่าเพียงร้อยละ 2.4 เท่านั้น

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 48ค แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้น(ร้อยละ)ของไนโตรเจนในหญ้าคาลล่าร์สูงที่สุด คือ 0.848^a และ 0.705^a ตามลำดับ ส่วนหญ้าอุบลพาสพาลัมและหญ้าสตาร์นั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 0.705^b และ 0.638^b ตามลำดับ จะเห็นได้ชัดเจนจากข้อมูลนี้ว่าปริมาณร้อยละของไนโตรเจนของหญ้าทั้ง 3 ชนิดนี้ ซึ่งเมื่อเปลี่ยนเป็นปริมาณโปรตีนดิบได้เพียงร้อยละ 5.3^a และ 4.41^a กับ 3.99^b ตามลำดับเท่านั้น ซึ่งล้วนต่ำกว่ามาตรฐานขั้นต่ำเพื่อการยังชีพของสัตว์เคี้ยวเอื้องของ Walton (1984) การที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนของหญ้าทั้งสามชนิดนี้ต่ำกว่ามาตรฐานมาก อาจเนื่องจากท่อนพันธุ์หญ้าที่ได้มานั้นขาดไนโตรเจนอยู่แล้ว และวัสดุที่ใช้ปักชำก็ปราศจากธาตุอาหารพืชด้วย ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ส่วนการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อบ่อ)พบว่า หญ้าสตาร์มีค่าสูงสุดคือ 556^a ส่วนหญ้าอุบลพาสพาลัมและหญ้าคาลล่าร์นั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติคือมีค่า 348^b และ 345^b ตามลำดับ พัฒนาการของรากหญ้าหลังจากทดลองให้น้ำทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ซึ่งตั้งสมมุติฐานร่างไว้ไปตอบการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ นั้นส่งผลให้หญ้าสตาร์จะมีประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนสูงกว่าทั้งหญ้าคาลล่าร์และอุบลพาสพาลัม การดูดใช้ไนโตรเจนได้สูงกว่าของหญ้าสตาร์นี้เองที่ทำให้หญ้าสตาร์มีความสูงและผลผลิตมากกว่าหญ้าทั้งสองชนิดหลังดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น การที่ปริมาณร้อยละของไนโตรเจนของหญ้าสตาร์ต่ำที่สุดทั้งๆที่มีการดูดใช้ธาตุนี้ได้มากสุดนั้น เป็นปรากฏการณ์เจือจาง(Dilution effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ปกติ พืชที่สมบูรณ์ที่สุดนั้นอัตราการสร้างน้ำหนักแห้งจะสูงกว่าอัตราการดูดใช้เสมอ

4) อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

ความแตกต่างระดับนัยสำคัญยิ่งทางสถิติของอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำกับชนิดของหญ้าที่มีต่อปริมาณ (ร้อยละ) ของไนโตรเจนที่ 4 สัปดาห์ (ก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้า) แต่ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติของอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้ต่อการดูดใช้ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ในตารางที่ 48ก นั้นสามารถอธิบายอย่างเป็นรูปธรรมได้โดยตารางที่ 44ง กล่าวคือ ทิศทางความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนระหว่างหญ้าทั้ง 3 ชนิดในกลุ่มที่ใช้น้ำเสียชุมชนกับน้ำชลประทานนั้นชัดเจนมาก กล่าวคือในน้ำเสียชุมชนจะมีอันดับของความแตกต่างเป็นแบบ $P_2 > P_3 > P_1$ ส่วนในน้ำชลประทานนั้นจะมีอันดับของความแตกต่างเป็นแบบ $P_1 = P_2 = P_3$ แต่ทิศทางความแตกต่างทางสถิติของการดูดใช้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ไนโตรเจนทั้งในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานนั้นเหมือนกัน กล่าวคืออยู่ในอันดับ $P_1 > P_2 = P_3$ เหมือนกัน การที่ทั้งความเข้มข้นและการดูดใช้ไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนสูงกว่าในน้ำชลประทานนั้นเป็นเพราะน้ำเสียชุมชนมีทั้ง TKN และ NH_4^+-N สูงกว่าและทำให้อิทธิพลอิสระของชนิดน้ำและชนิดพืชแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 48ก) ซึ่งไปส่งผลให้พัฒนาการของรากที่ระยะเวลาต่างๆ กันแตกต่างกันดังได้คาดคะเนไว้ในตอนต้น การพบความแตกต่างของความเข้มข้นของไนโตรเจน (ร้อยละ) ในอันดับ $P_2 > P_3 > P_1$ ในน้ำเสียชุมชนนั้นเป็นเพราะเกิดปรากฏการณ์เจือจางใน P_1 ซึ่งดูดใช้ไนโตรเจนได้สูงสุดคือ 693 มิลลิกรัมต่อบ่อ แล้วไปทำให้เกิดการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงที่สุดถึง 102.4 กรัมต่อบ่อ (ตารางที่ 45ง) จึงทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนของส่วนเหนือดินของหญ้าเฉลี่ยเพียงร้อยละ 0.677 เท่านั้น ขณะที่ P_2 มีความเข้มข้นสูงสุดคือ ร้อยละ 1.097 ทั้งที่ดูดใช้ไนโตรเจนได้เพียง 483 มิลลิกรัมต่อบ่อ ซึ่งอยู่ในกลุ่มต่ำสุด และมีน้ำหนักแห้งต่ำสุดเพียง 44.2 กรัมต่อบ่อ (ตารางที่ 45ง เช่นเดียวกัน) นั้นน่าจะเป็นเพราะพัฒนาการของรากต่ำมากแม้จะได้รับ TKN สะสม 166.9 มิลลิกรัมต่อลิตร (จาก 37.4 + 41.1 + 45.0 + 43.9 ในตารางที่ 40) หรือ 23,366 มิลลิกรัม/บ่อ และแอมโมเนียมจากน้ำเสียชุมชนก่อนบำบัดสะสม 49.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (จาก 10.8 + 10.9 + 12.6 + 15.1ในตารางที่ 40 เช่นเดียวกัน) หรือ 6,916 มิลลิกรัมต่อบ่อ ซึ่งมีอยู่สูงถึงร้อยละ 29.6 ของ TKN นั้นรวมกับ Organic N ซึ่งจะค่อยๆ Mineralized อีกประมาณร้อยละ 7 ของ Organic N (คาดคะเนจาก 1,113.43 ในตารางที่ 41 เมื่อเปรียบเทียบกับผลต่างของ Organic N 14,994 ในตารางที่ 40) ซึ่งจะได้ประมาณ 1,151.5 รวมเป็น Available N ประมาณ 6,916 + 1,151.5 = 8,067.5 มิลลิกรัมต่อบ่อ ประสิทธิภาพในการดูดใช้ไนโตรเจนของ P_2 จาก TKN สะสมจะมีเพียง 483 x 100 / 23,366 หรือ ร้อยละ 2.1 แต่ถ้าคิดจากแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เป็นไปได้ก็จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 483 x 100 / 8,067.5 หรือ ประมาณร้อยละ 6 ในขณะที่ P1 และ P3 จะมีประสิทธิภาพ 693 x 100 / 8,067.5 หรือ

ร้อยละ 8.6 กับ 474 x 100 / 8,067.5 หรือประมาณร้อยละ 5.9 ตามลำดับ ปรากฏการณ์นี้คงจะเกี่ยวข้องกับพัฒนาการของรากของหญ้าที่แตกต่างกัน อนึ่งในแปลงที่ใส่น้ำเสียชุมชน สำหรับหญ้า P_2 กับ P_3 ซึ่งดูดใช้ไนโตรเจนไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 483^b กับ 474^b มิลลิกรัมต่อบ่อนี้เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 45ง ซึ่งพบว่าน้ำหนักของส่วนเหนือดินไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน คือ 44.2^{cd} กับ 53.9^c กรัมต่อบ่อแต่ทำให้ความเข้มข้นของ $P_2 > P_3$ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง คือ ร้อยละ 1.097^a กับ 0.881^b (ตารางที่ 48ง) ทำให้น่าจะยืนยันได้ว่า P_2 น่าจะนำเอาไนโตรเจนที่ดูดขึ้นมาจากน้ำและดิน เอาไปสร้างใบให้ยาวและกว้างขึ้น แต่ยังเอามาสร้างส่วนลำต้นได้น้อยกว่า P_3 ชนิดของเนื้อเยื่อของส่วนที่เป็นใบและส่วนที่เป็นต้นน่าจะแตกต่างกันมากกล่าวคือ ส่วนของลำต้นควรจะเป็นกลุ่มเซลล์ที่มีผนังเซลล์หนากว่าผนังเซลล์ของใบ น้ำหนักแห้งของ P_3 จึงมีแนวโน้มมากกว่า P_2 และที่แน่นอนคือ ใบพืชมีสีเขียวกว่าต้นพืชเสมอ เพราะใบจะต้องมีคลอโรฟิลล์สูงกว่าต้นและในคลอโรฟิลล์ก็จะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึง 70% (Salisbury and Ross, 1969) ดังนั้น P_2 จึงมีความเข้มข้นของไนโตรเจน(ร้อยละ) สูงกว่าของ P_3 อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

5.2 หลังใส่ปุ๋ยยูเรีย

ตารางผนวกที่ 15 และ16 แสดงข้อมูลดิบทางด้านความเข้มข้นและการดูดใช้ไนโตรเจนของหญ้าอาหารสัตว์ ที่ระยะเวลา 4 ซึ่งเป็นข้อมูลก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย และที่ 6 และ 8 สัปดาห์ ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าแล้ว เมื่อต้นสัปดาห์ที่ 5 เอาไว้ด้วยกัน แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแล้ว ได้นำเสนอเฉพาะข้อมูลทางสถิติที่สำคัญของระยะหลังใส่ปุ๋ยยูเรีย ไว้ในตารางที่ 49 โดยตารางที่ 49ก นำเสนอค่า F-values, MS error และ CV(%) ของทั้งความเข้มข้นและการดูดใช้ ตารางที่ 49ข และ 49ค เป็นการนำเสนออิทธิพลอิสระของชนิดน้ำและชนิดพืชตามลำดับ และตารางที่ 49ง แสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบปรากฏการณ์ที่สำคัญต่างๆ ดังนี้ คือ

1) การทดสอบความแตกต่าง

จากตารางที่ 49ก จะเห็นได้ชัดเจนว่าอิทธิพลอิสระของทั้งแหล่งน้ำไม่ทำให้ความเข้มข้น(ร้อยละ) แตกต่างกันถึงระดับนัยสำคัญทั้งที่ระยะ 6 และ 8 สัปดาห์ ส่วนการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งที่ 6 และที่ 8 สัปดาห์ สำหรับอิทธิพลอิสระของชนิดพืชนั้นพบว่าที่ระยะ 6 สัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) ส่วนที่ระยะ 8 สัปดาห์ทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของ

ไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญเท่านั้น แต่ในอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนั้น ทั้งความเข้มข้นและการดูดใช้ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 49 อิทธิพลของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด หลังใส่ปุ๋ยยูเรีย

ก. ค่า F value MS error และ CV (ร้อยละ)

SOV	df	ที่ระยะ 6 สัปดาห์		ที่ระยะ 8 สัปดาห์	
		ความเข้มข้น	การดูดใช้	ความเข้มข้น	การดูดใช้
Water (W)	1	0.41^{NS}	58.06^{*}	2.57^{NS}	25.34^{*}
MS Error a	2	0.13	89,841.17	0.05	301,957.06
CV (a)		18.72	11.45	14.27	16.72
Plant (P)	2	13.99^{**}	20.92^{**}	7.11^{*}	7.88^{*}
W x P	2	1.25^{NS}	1.88^{NS}	0.03^{NS}	1.15^{NS}
MS Error b	8	0.07	134,810.03	0.03	354,269.22
CV (b)		13.30	14.03	11.38	18.11

ข. อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและการดูดใช้

แหล่งน้ำ	ที่ระยะ 6 สัปดาห์		ที่ระยะ 8 สัปดาห์	
	ความเข้มข้น	การดูดใช้	ความเข้มข้น	การดูดใช้
น้ำเสีย (W_1)	1.994^{a}	$3,155.4^{a}$	1.623^{a}	$3,937^{a}$
น้ำชลประทาน (W_2)	1.883^{b}	$2,078.8^{b}$	1.457^{b}	$2,634^{b}$

ตารางที่ 49 (ต่อ)

ค. อิทธิพลอิสระของชนิดพืชต่อความเข้มข้นและการดูดใช้

SOV	ที่ระยะ 6 สัปดาห์		ที่ระยะ 8 สัปดาห์	
	ความเข้มข้น	การดูดใช้	ความเข้มข้น	การดูดใช้
หญ้าสตาร์ (P_1)	2.262[a]	3,363[a]	1.685[a]	3,865[a]
หญ้าคาลลาร์ (P_2)	2.056[a]	2,475[b]	1.611[a]	3,458[a]
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1.501[b]	2,104[b]	1.324[b]	2,534[b]

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง

SOV	ที่ระยะ 6 สัปดาห์		ที่ระยะ 8 สัปดาห์	
	ความเข้มข้น	การดูดใช้	ความเข้มข้น	การดูดใช้
น้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	2.190[a]	3,728[a]	1.761[a]	4,258[a]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	2.217[a]	3,240[a]	1.687[a]	4,372[a]
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	1.573[b]	2,498[b]	1.421[b]	3,183[b]
น้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	2.333[a]	2,998[b]	1.609[a]	3,472[ab]
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1.893[ab]	1,709[c]	1.534[ab]	2,545[b]
หญ้าอุบลพลาสพาลัม (P_3)	1.427[a]	1,529[c]	1.227[b]	1,884[c]

2) อิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ

ตารางที่ 49ข แสดงให้เห็นชัดเจนว่า น้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีซึ่งไม่ทำให้ความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนของหญ้าอาหารสัตว์โดยไม่คำนึงถึงชนิดของหญ้านั้นสูงกว่าในบ่อที่ได้รับน้ำชลประทานทั้งที่ระยะ 6 และ 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 49ก) นั้นมีความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจน 1.994[a] กับ 1.883[a] และ 1.623[a] กับ 1.457[b] ตามลำดับ ส่วนการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ซึ่งแตกต่างกันถึงระดับนัยสำคัญทั้งที่ 6 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 49ก เช่นเดียวกัน) นั้นมีปริมาณ 3,155[a] กับ 2,079[b] และ 3,937[a] กับ 2,634[b] ตามลำดับ ความแตกต่างกันของการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งที่ระยะ 6 และ 8 สัปดาห์นี้เกิดขึ้นจากพัฒนาการของรากพืชหลังจากการใส่ปุ๋ยยูเรียเมื่อ

ต้นสัปดาห์ที่ 5 นั้นทั้งกลุ่มบ่อทดลองที่ใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน จะยังคงแตกต่างกัน กล่าวคือ น้ำปุ๋ยยูเรียที่มีประจุบวกทั้งหมดจะถูกดูดซับอยู่เฉพาะที่ผิวดินซึ่งความลึกไม่เกิน 10 เซนติเมตร เพราะการแทรกซึมของน้ำที่ใส่หลังจากรอบที่ 4 เป็นต้นไปจะชะลอตัวจนถึงสมดุลย์เมื่อใส่ครบ 140 ลิตร/บ่อ จนทำให้มีน้ำท่วมขังที่ประมาณ 10 เซนติเมตรนั้นต้องใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง เนื่องจาก Macropore ที่เกิดจากก้อนดินก่อนใส่น้ำนั้นถูกทำลายลงจนเหลือแต่ Macropore ที่เกิดจากอนุภาคทรายหยาบที่ใส่ลงไปเท่านั้น การชะลอการแทรกซึมของน้ำปุ๋ยยูเรียที่มีประจุบวกนี้จะถูกประจุลบของ Clay ในดินดูดยึดเอาไว้ บ่อที่ได้รับน้ำเสียชุมชนจะมีพัฒนาการทั้งในแนวนอนและแนวลึก ส่วนในบ่อที่ให้น้ำชลประทานจะมีพัฒนาการของรากในแนวนอนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นรากพืชในน้ำชลประทานดูดยูเรียได้ในแนวนอน (Horizontal Absorbtion) เป็นส่วนใหญ่ แต่จากน้ำเสียชุมชนนั้นรากพืชจะยาวขึ้นได้เพราะได้รับ NH_4^+-N ที่เกิดจากการ Mineralization จาก Organic N ซึ่งค่อยๆ เกิดการสะสม เมื่อเวลาของการทดลองนานขึ้นและดูดธาตุนี้เอามาใช้สร้างความเจริญเติบโตได้มากขึ้นๆ ดังสังเกตได้จากความสูงที่เพิ่มขึ้นๆ ดังได้กล่าวแล้ว ทั้งนี้เพราะมีการดูดไนโตรเจนได้มากขึ้น เมื่อเปลี่ยนค่าร้อยละของไนโตรเจนเป็นโปรตีนดิบ ซึ่งมีค่าร้อยละ 12.5 กับ 11.8 และ 10.1 กับ 9.1 ในน้ำเสียชุมชนกับน้ำชลประทาน ที่ 6 สัปดาห์และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ กับมาตรฐานโปรตีนอาหารสัตว์หยาบของ Walton (1984) แล้วจะเห็นได้ชัดเจนว่า การใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าสามารถเพิ่มคุณภาพของหญ้าทั้งในน้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทาน ตลอดช่วง 6-8 สัปดาห์ได้เป็นอย่างดียิ่ง กล่าวคือ ปุ๋ยยูเรียที่มีประจุบวกนี้จะถูกหญ้าดูดใช้เอามาสร้างส่วนเหนือดินโดยเอาไปสร้างใบให้มีความยาว ความกว้าง และมีคลอโรฟิลล์มากขึ้น ทำให้สังเคราะห์แสงได้มากขึ้น และมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างรากให้ยาวขึ้น และมีพัฒนาการมากขึ้น และดูด Available N ทั้งจากปุ๋ยและจากดินได้มากขึ้น (ในกรณีเมื่อใส่น้ำเสียชุมชนเพราะมีพัฒนาการของรากในแนวลึกมากขึ้นๆ) การดูดใช้ N ได้มากขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียนี้เองที่ทำให้คุณภาพทางด้านอาหารสัตว์ในรูปของโปรตีนดิบเพิ่มขึ้นจากที่เคยขาดแคลนรุนแรงมากมาอยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่ที่ระยะเดียวกันไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชนิดของน้ำนั้นเป็นเพราะอัตราการสังเคราะห์มวลชีวภาพกับการดูดใช้ไนโตรเจนของน้ำทั้งสองนี้ไม่แตกต่างกันนั่นเอง และการลดลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น (ที่ระยะ 6 เป็น 8 สัปดาห์) นั้นก็เกิดจาก Dilution Effect ของอัตราการสร้างผลผลิตน้ำหนักแห้งนั้นสูงกว่าอัตราการดูดใช้ไนโตรเจนซึ่งเป็นลักษณะปกติของการแก่ขึ้นของเซลล์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นมานั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของการดูดใช้ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ทั้งที่ 6 และ 8 สัปดาห์ ซึ่งมีค่า 1,076 และ 1,303 กับผลต่างของ TKN สะสม 34,314 (จาก 21,112 ที่กล่าวแล้วกับ + 6,482 + 6,720 ในตารางที่ 43) กับ 46,536 (จาก 34,314 + 6,398 + 5,824 ในตารางที่ 43) ก็จะพบว่า หลังการใส่ปุ๋ยยูเรียแล้วประสิทธิภาพในการดูดใช้ TKN

จากน้ำเสียชุมชนก็ยังดีกว่าก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย คือมีประสิทธิภาพร้อยละ 3.1 และ 2.8 ที่ 6 และ 8 สัปดาห์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละ 1.3 เมื่อก่อนการใส่ปุ๋ยยูเรีย และเมื่อเปรียบเทียบกับผลต่างของของ NH_4^+-N สะสม 16,741 กับ 21,563 มิลลิกรัมต่อบ่อ(จากตารางที่ 44) ก็พบว่าประสิทธิภาพในการดูดใช้ NH_4^+-N จากน้ำเสียชุมชนนั้นสูงขึ้นเป็นร้อยละ 6.4 กับ 6.0 ที่ 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งล้วนสูงกว่า 2.4 เปอร์เซ็นต์ ดังที่ได้กล่าวแล้วเมื่อ 4 สัปดาห์ การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากน้ำเสียชุมชนในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 เป็นร้อยละ 6.4 กับ 6.0 หรือเพิ่มร้อยละ 4 และ 3.6 นี้ ยืนยันการเพิ่มขึ้นของพัฒนาการของรากทั้งในแนวนอนและแนวลึกได้เป็นอย่างดี เพราะกลไกหลักในการดูดใช้ธาตุอาหารพืชนั้นควรจะเป็นแบบ Ccontact exchange มากที่สุด (ไพบูลย์, 2526)

3) อิทธิพลอิสระของชนิดพืช

ตารางที่ 49ค แสดงให้เห็นว่าทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัมต่อบ่อ) ที่ระยะ 6 สัปดาห์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 49ก) นั้น หญ้าสตาร์และหญ้าคาลล่าร์มีความเข้มข้นของไนโตรเจนอยู่ในกลุ่มสูงสุดที่สุด และหญ้าอุบลพาสพาลัมต่ำสุด คือ ร้อยละ 2.262^a , 2.056^a และ 1.501^b ตามลำดับ ส่วนการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนที่ระยะสัปดาห์ที่ 6 นั้นหญ้าสตาร์ดูดใช้ได้สูงสุดคือ 336.3^a มิลลิกรัมต่อบ่อ ส่วนหญ้าคาลล่าร์และหญ้าอุบลพาสพาลัมนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือดูดใช้ไนโตรเจนได้ 247.5^b และ 210.4^b มิลลิกรัม/บ่อ ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 8 นั้นทั้งความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 49ก) เท่านั้นนั้นความเข้มข้นของไนโตรเจนของหญ้าสตาร์กับหญ้าคาล่าร์อยู่ในกลุ่มสูงสุดคือ ร้อยละ 1.685^a กับ 1.611^a ส่วนหญ้าอุบลพลาสพาลัมต่ำสุด คือ ร้อยละ 1.324^b การดูดใช้ธาตุไนโตรเจนนั้นหญ้าสตาร์กับหญ้าคาล่าร์อยู่ในกลุ่มสูงสุดคือ $3,865^a$ กับ $3,458^a$ มิลลิกรัมตอบ่อ ส่วนหญ้าอุบลพลาสพาลัมต่ำสุด คือ $2,534^b$ มิลลิกรัมต่อบ่อ เมื่อคำนวณเป็นโปรตีนดิบจะได้ร้อยละ 14.1 12.8 และ 9.4 กับ 10.5 10.1 และ 8.3 ในหญ้าทั้ง 3 ชนิดคือ P_1 P_2 และ P_3 ที่ 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่ำกว่ามาตรฐานของหญ้าสดของ Walton(1984) เลย ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นความดีของการใส่ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าอย่างชัดเจน เพราะทำให้มาตรฐานของหญ้าซึ่งก่อนใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นต่ำมากทำให้ขึ้นมาอยู่ที่มาตรฐานได้ แม้เมื่อหญ้านี้อายุ 8 สัปดาห์แล้วก็ตาม การดูดใช้ของไนโตรเจน(กรัมต่อบ่อ) ที่เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 8 สัปดาห์นั้น แสดงว่าพัฒนาการของรากทั้งในแนวนอนและแนวลึกของหญ้าทั้ง 3 ชนิดดีขึ้น จึงดูดใช้ไนโตรเจนได้มากขึ้น กล่าวคือเพิ่มขึ้น 502 983 และ 430 หรือเพิ่มขึ้นในอัตราวันละ 35.86

70.21 และ 30.1 มิลลิกรัมต่อบ่อ ใน P_1 P_2 และ P_3 ตามลำดับ ข้อมูลนี้ชี้แนะว่าพัฒนาการของรากจาก 6 สัปดาห์เป็น 8 สัปดาห์อยู่ในอันดับ $P_2 > P_1 > P_3$ ทำนองเดียวกันกับน้ำหนักแห้งซึ่งเพิ่มขึ้น 78.9 92.2 และ 56.9 กรัมต่อบ่อ หรือเพิ่มขึ้นในอัตราวันละ 5.64 6.59 และ 4.06 กรัมต่อบ่อ (คำนวณจากตารางที่ 46ค) อัตราการตอบสนองต่อปุ๋ยยูเรีย (เพื่อสร้างน้ำหนักแห้ง) จึงน่าจะเป็นดัชนีแสดงพัฒนาการของรากได้อย่างดียิ่ง พันธุกรรมของหญ้าอุบลพาสพาลัมที่ชักนำให้หญ้าแก่เร็วกว่าหญ้าอีก 2 ชนิดอาจเป็นต้นเหตุที่ทำให้ทั้งคุณภาพและผลผลิตของหญ้าอุบลพาสพาลัมนี้ต่ำที่สุด

4) อิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย

ตารางที่ 49ง แสดงอิทธิพลร่วมของแหล่งน้ำและพืชต่อความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุนี้ (มิลลิกรัม/บ่อ) ที่ระยะ 6 และ 8 สัปดาห์ แม้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 49ก) กล่าวคือ ทิศทางของความแตกต่างระหว่างชนิดพืชภายในแหล่งน้ำเดียวกันนั่นคือ ทั้งในน้ำเสียชุมชนและในน้ำชลประทานนั้นคล้ายคลึงกันมาก แต่ถ้าพิจารณาให้ละเอียดแล้วจะเห็นได้ว่า P_1 จะมีดัชนีทั้ง 2 ทั้งที่ระยะ 6 และ 8 สัปดาห์ทั้งในน้ำเสียชุมชนและในน้ำชลประทานสูงที่สุด แต่มีการดูดใช้ธาตุในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนที่ 6 สัปดาห์สูงที่สุดและมีแนวโน้มที่จะดีกว่าจากน้ำชลประทานในสัปดาห์ที่ 8 ส่วน P_3 นั้นจะอยู่ในกลุ่มต่ำสุดทางสถิติสำหรับความเข้มข้นและการดูดใช้ที่ระยะ 6 สัปดาห์เมื่อใช้น้ำเสียชุมชนแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับ P_2 ในน้ำชลประทานที่ระยะ 8 สัปดาห์ P_3 จะมีทั้งความเข้มข้นและการดูดใช้อยู่ในกลุ่มต่ำสุดในแปลงที่ใช้น้ำชลประทานแต่ในแปลงที่ใช้น้ำเสียชุมชนนั้นเป็นเพียงแนวโน้มที่จะต่ำสุด ความแตกต่างที่เกิดขึ้นแม้เพียงเล็กน้อยภายในแหล่งน้ำนี้เองที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างที่ชัดเจนของอิทธิพลของชนิดพืชสำหรับดัชนีทั้งสองนี้ในตารางที่ 49ค

5.3 ประสิทธิภาพของการดูดใช้ปุ๋ยยูเรีย

ประสิทธิภาพของการดูดใช้ปุ๋ยยูเรียซึ่งทำให้มีประจุบวกโดยสังเขป โดยเอาผลต่างของค่าเฉลี่ยการดูดใช้ไนโตรเจนที่เกิดจากอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำ ชนิดพืช และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองที่ระยะ 4 6 และ 8 สัปดาห์หลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียลงไป 9.63 กรัมต่อบอ หรือ 9,630 มิลลิกรัมต่อบ่อครั้งเดียวเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 4 (หลังจากตัดหญ้าที่ 4 สัปดาห์ออกแล้ว) หรือเมื่อต้นสัปดาห์ที่ 5 มาหาร้อยละของการดูดใช้ ผลของการคำนวณประสิทธิภาพโดยสังเขปโดยใช้ค่าผลต่าง

ของค่าเฉลี่ยของการดูดใช้ไนโตรเจนที่ 6 และ 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 49ข ค และ ง) กับที่ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 48ข ค และ ง) เมื่อเอา 100/9630 มาคูณถูกนำเสนอไว้ในตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ประสิทธิภาพโดยสังเขปของการดูดใช้ไนโตรเจน (ร้อยละ) ที่มาจากปุ๋ยยูเรีย

ปัจจัยที่ศึกษา	ที่ระยะเวลา (สัปดาห์)		การเพิ่มขึ้น (%)
	6	8	
ก. ชนิดของแหล่งน้ำ			
น้ำเสียชุมชน (W_1)	27.1	35.2	8.1
น้ำชลประทาน (W_2)	18.7	24.4	5.7
ข. ชนิดของพืช			
หญ้าสตาร์ (P_1)	29.1	34.4	5.3
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	22.1	32.3	10.2
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	18.2	22.7	4.5
ค. อิทธิพลร่วม			
(ก) น้ำเสียชุมชน (W_1)			
หญ้าสตาร์ (P_1)	31.5	37.0	5.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	28.6	40.4	11.8
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	21.0	28.1	7.1
(ข) น้ำชลประทาน (W_2)			
หญ้าสตาร์ (P_1)	26.8	31.7	4.9
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	15.6	24.3	8.7
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	13.6	17.3	3.7

จากตารางที่ 50 นี้จะเห็นได้ชัดเจนว่าประสิทธิภาพในการดูดใช้ไนโตรเจนจะสูงขึ้นเมื่อเวลาหลังใส่นานขึ้นไปทางผิวใบที่ศึกษา กล่าวคือในอิทธิพลอิสระของแหล่งน้ำนั้นจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.1 กับ 5.7 ใน W_1 และ W_2 ตามลำดับ สำหรับอิทธิพลอิสระของชนิดพืชนั้นจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.3 10.2 และ 4.5 ใน P_1 P_4 และ P_3 ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลร่วมนั้นใน W_1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.5 11.8 และ 7.1 ในขณะที่ใน W_2 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.9 8.7 และ 3.7 สำหรับ P_1 P_2 และ P_3 ตามลำดับ ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นนี้น่าจะเกิดจากการมีพัฒนาการของรากที่เพิ่มขึ้น อิทธิพลของไนโตรเจนใน W_1 โดยไม่คำนึงถึงชนิดของพืชนั้นส่งเสริมให้พัฒนาการของรากพืชมีมากขึ้นแน่เพราะทำให้

ประสิทธิภาพในการดูดใช้นั้นสูงกว่าจาก W_2 ถึงร้อยละ 8.4 (จาก 27.1-18.7) และร้อยละ 10.8 (จาก 35.2-24.4) ที่ 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ เมื่อคำนึงถึงชนิดพืชก็พบว่า ประสิทธิภาพ(ร้อยละ)ของ $W_1 > W_2$ 4.7 13.0 และ 7.4 กับ 5.3 16.1 และ 10.8 สำหรับ P_1 P_2 และ P_3 ตามลำดับ และเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดของแหล่งน้ำก็พบว่า อันดับของประสิทธิภาพในการดูดใช้ไนโตรเจนเป็น $P_1 > P_2 > P_3$ คือร้อยละ 29.1 22.1 และ 18.2 กับ 34.4 32.3 และ 22.7 ที่ระยะ 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดนี้เกิดจากพัฒนาการของรากที่เพิ่มขึ้นโดยเพิ่มในแนวนอนก่อนแล้วจึงขยายมากทางลึกเพราะมีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินที่มาจากน้ำเสียชุมชนซึ่งค่อยๆ Mineralized ออกมามากขึ้นๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นๆ นั่นเอง

สรุป

การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน (W_1) ด้วยระบบดินเปียกสลับแห้งร่วมกับหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ (P_1) หญ้าคาลล่าร์ (P_2) หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3) และดินเปล่า (S) เป็นตัวเปรียบเทียบ ปลูกในสภาพการขังน้ำ 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในดินที่มีอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 29 มีดัชนีที่ศึกษาดังนี้ คือ บีโอดี ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด การเจริญเติบโต ความเข้มข้น และการดูดใช้ไนโตรเจน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ค่าบีโอดีของน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัด ส่วนใหญ่มีการกระจายอยู่ในพิสัย 64.3±38.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และภายหลังผ่านการบำบัดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้า คาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่าส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 5.5±0.8 7.6±1.5 5.3±0.7 และ 6.2±0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีพบว่าส่วนใหญ่มีค่าการกระจายอยู่ในพิสัยร้อยละ 92.8±2.8 92.3±4.3 92.7±3.1 และ 92.1±3.2 ตามลำดับ

2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัด ส่วนใหญ่มีการกระจายอยู่ในพิสัย 7.4±0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และภายหลังผ่านการบำบัดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่าส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 7.2±0.2 7.2±0.2 7.3±0.2 และ 7.4±0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัด ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 45.2±4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 2.7±0.6 2.3±0.3 2.5±0.3 และ 2.9±0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพการบำบัดกระจายอยู่ในพิสัยร้อยละ 96.2±0.7 96.8±0.4 96.4±0.5 และ 96.0±0.5 ตามลำดับ

4. ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนก่อนการบำบัด พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าการกระจายอยู่ในพิสัย 14.3±3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่า ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย

1.0±0.2 1.0±0.1 1.1±0.1 และ 1.0±0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดกระจายอยู่ในพิสัย 95.3±1.5 95.5±1.3 95.0±1.2 และ 95.5±1.1 ตามลำดับ

5. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนก่อนบำบัด พบว่าส่วนใหญ่มีค่าการกระจายอยู่ในพิสัย 5.1±0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาลล่าร์ หญ้าอุบลพาสพาลัม และดินเปล่า พบว่าส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในพิสัย 0.3±0.1 0.3±0.1 0.3±0.1 และ 0.3±0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดกระจายอยู่ในพิสัย 96.8±0.9 95.9±0.7 96.2±0.9 และ 96.7±0.7 ตามลำดับ

6. ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีส่วนใหญ่เกิดจากแบคทีเรีย Facultative Anaerobes

7. ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อมีพืชอยู่จะบำบัดได้ดีกว่าดินเปล่า

8. น้ำเสียชุมชนและน้ำชลประทานส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ผลผลิตและปริมาณน้ำในหญ้าอาหารสัตว์แตกต่างกันชัดเจนทางสถิติ ทั้งก่อนและหลังใส่ปุ๋ยยูเรีย

9. น้ำเสียชุมชนทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนและการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนสูงกว่าน้ำชลประทานแตกต่างชัดเจนทางสถิติในก่อนใส่ปุ๋ยยูเรีย ส่วนหลังใส่ปุ๋ยยูเรียไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2537. **คู่มือเล่ม 1 คู่มือเจ้าของอาคาร/ภัตตาคาร และผู้รับจ้างติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดตั้งกับที่**. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2537. **แนวทางควบคุมปัญหาน้ำเสียสำหรับองค์กรบริหารท้องถิ่น**. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2539. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทย**. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา. 2543. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โคราชออฟเซ็ทการพิมพ์, นครราชสีมา.

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2544. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย**. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2541. **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. **หลักการจัดการลุ่มน้ำ**. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์. 2548. **ตำราระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2530. **หญ้าและถั่วอาหารสัตว์เมืองร้อน**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

_____. 2535. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. โอ เอส พรินติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ

_____. 2542. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

ชนิษฐา จารุวิชัยพงษ์. 2538. **พฤติกรรมการใช้น้ำและการจัดการน้ำทิ้งของครัวเรือน ในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชรินทร เดชดำรงปรีชา. 2531. **การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยยูเรียร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตสำหรับข้าวโพด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชวนิศนดากร วรวรรณ, สุภาพร อิสริโยดม, ทองยศ อเนกะเวียง, กิษดิศ อื้อเชี่ยวชาญกิจ, กัญจนะ มากวิจิตร์ และกระจ่าง วิสุทธารมณ์. 2528. **หลักการเลี้ยงสัตว์ทั่วไป**. สมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ

ชาญชัย มณีดุลย์ และนิศา โสภณ. 2512. **ผลกระทบกระเทือนต่ออาหารสำรองของหญ้ากินนีซึ่งตัดด้วยระดับความถี่ต่างๆ กัน**. สัตวแพทย์สาร 17: 1-7.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ เชียงใหม่ และกรรณิกา วิทย์สุภากร. 2528. **มนุษย์นิเวศวิทยาและการสาธารณสุข**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 249 หน้า.

ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. 2542. การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช. เจริญรัฐการพิมพ์. น. 93-95, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ทัศนีย์ อัตตานันท์. 2543. **ดินที่ใช้ปลูกข้าว**. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ. 2530. **น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล**. รายงานการศึกษาเสนอต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพฯ

ธนัญชัย วรรณสุข. 2545. **ศักยภาพการใช้หญ้าอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนิศร์ ปัทมพิฑูร. 2548. **การศึกษาแบคทีเรียรอบรากพุทธรักษา ธรรมรักษา และขิงแดงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นภาวรรณ นพรัตนราภรณ์. 2535. **จุลชีววิทยาของภาวะมลพิษ**. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรุติ คูณผล. 2539. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย**. ฝ่ายวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

ประภาภรณ์ เคารพ. 2543. **การศึกษารูปของแอมโมเนียมในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีพืชกรองน้ำเสีย ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. 2531. **เอกสารการสอนวิชาชลธีวิทยา**. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2540. **อิทธิพลของฟอสฟอรัสในดินที่มีต่อการผลิตมวลชีวภาพ และคุณภาพของโสนแอฟริกันที่จะเป็นปุ๋ยพืชสดของข้าวในดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปราณี พันธุมสินชัย. 2537. **คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาครัฐบาล องค์การบริหารและสุขาภิบาล**. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ปิฏฐะ บุนนาค. 2529. **ไม้ดอกไม้ประดับ**. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์บรรณกิจ, กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต. 2525. **แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

_____. 2536. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

_____. 2539. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พรพิมล ห่อสุวรรณชัย. 2542. **การบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำเสียชุมชนโดยวิธีหญ้ากรอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรรัตน์ ดีสงคราม. 2547. **การใช้ระบบหญ้ากรองบำบัดน้ำเสียชุมชนจังหวัดจันทบุรีกรอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ และสุรศักดิ์ พรรณภัทราพงษ์. 2543. **ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยบ่อบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี**. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ รายงานสรุปผลการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ, กรุงเทพฯ.

พัฒนา มูลพฤกษ์. 2541. **อนามัยสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก.เอ็น.เอส.แอล.พริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

พัฒนี จันทรโรทัย. 2536. **ข้อพิจารณาในการใช้พืชปรับปรุงคุณภาพน้ำ**. วารสารวิทยาศาสตร์ ม.ก. 11(3): 154-157.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2547. **หลักการอาหารสัตว์**. เล่ม 2: หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. **เคมีของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. ความรู้เกี่ยวกับปุ๋ย, น. 38. *ใน* **เอกสารประกอบการฝึกอบรมครูเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลายครั้งที่ 3**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒประสานมิตร.

_____. 2543. **การใช้ที่ดินให้ถูกต้องและเป็นธรรมแก้ปัญหาเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมของประเทศได้ศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงของโลก: บทบาทของประเทศไทยในความร่วมมือเพื่อการวิจัยในโครงการ IGPB**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. สบู่ดำ: การจัดการดินและการใช้ปุ๋ย, น. 44-74. *ใน* **สบู่ดำพืชพลังงาน**. ชำนาญ ฉัตรแก้ว และคณะบรรณาธิการ. หจก พันปีพับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2537. **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิชัยพัฒนา สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547. คู่มือเทคโนโลยีการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ, น. 1-1 ถึง 1-20 ใน **เอกสารประกอบการประชุม เชิงปฏิบัติการ การประยุกต์เทคโนโลยีการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริสู่ท้องถิ่น**. มูลนิธิชัยพัฒนา สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไมเคิล แฮร์, กิตติ วงส์พิเชษรฐ, วรพงษ์ สรุยจันทราทอง, กังวาน ธรรมแสง, สุรชัย สุวรรณลี, ประพันธ์ บุญเจริญ, พวน ทัศพงษ์, อารีรัตน์ ลุนผา, กิตติพัฒน์ สายประเสริฐ และวันชัย อินทิแสง. 2546. **หญ้าพาสพาลัมอุบล การจัดการและการใช้ประโยชน์**. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุพเยาว์ โตคีรี. 2544. **การศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียบีโอดีสูงด้วยดินร่วนระบบท่วมขังสลับแห้งร่วมกับกกกลม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรีสุวรรณ เกษมสวัสดิ์. 2542. **การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำเสียจากเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่ผ่านระบบบำบัดบริเวณแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ตั้งวานิชกพงษ์. 2551. **ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีจังหวัดเพชรบุรี ด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับโสน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2544. **สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2543-2544**. เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 9. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. **สรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ เจริญวัย และสิรภพ เทพพิทักษ์. 2548. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของหญ้าอุบลพาสพาลั่ม หญ้าสปาตินา และหญ้าคาลล่าที่ปลูกในระบบหญ้ากรองน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี, น. 90-98. *ใน* **ประชุมวิชาการของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4**. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. **ผลผลิตและคุณภาพของหญ้าอุบลพาสพาลั่ม หญ้าคาลล่า และหญ้าขนที่ปลูกในระบบหญ้ากรองน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2538. **การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุกัญญา สารณาคมน์กุล. 2548. **การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งชุมชนของพุทธรักษา ธรรมรักษา และขิงแดงในสภาพน้ำขังสลับแห้งของดินร่วมกับพืช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุชาดา ศรีเพ็ญ, สายัณห์ ทัดศรี, จันทนา สุขปรีดี, สุวพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์, สมบัติ ชิณะวงศ์ และสุมน มาสุธน. 2537. การคัดเลือกพันธุ์พืชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธี Grass filtration, เอกสารประกอบการบรรยายหมายเลข 7 น. 1-7. *ใน* **การประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี** ณ โรงแรมรีเจ้นท์ชะอำ อำเภอชะอำ วันที่ 2-3 พฤษภาคม 2537 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนทรีย์ อิ่งชัชวาลย์. 2535. **ชลศาสตร์ในระบบดิน-พืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 200 หน้า.

สุรีย์ สอบสมบูรณ์. 2519. **คู่มือเกษตรชลประทาน**. รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 684 หน้า.

สุรัสวดี บุบผะเรณู. 2542. **การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดี และซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2531. **การออกแบบโครงการบำบัดน้ำเสียชุมชน**, น.5-4. ใน เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนครั้งที่ 3 ระหว่างวันที่ 24-25 พฤศจิกายน 2531. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. **เทคโนโลยีน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. **เทคโนโลยีน้ำเสีย**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น. 189.

สายัณห์ ทัดศรี. 2530. **พืชอาหารสัตว์และหลักการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. **พืชอาหารสัตว์เขตร้อน** การผลิตและการจัดการ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น 17.

_____. 2547. **พืชอาหารสัตว์เขตร้อน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, สุวพงษ์ สวัสดิ์พานิช, สมบัติ ชิณะวงศ์, สุชาดา ศรีเพ็ญ, จันทนา สุขปรีดี, สุมน มาสุธน, สมศักดิ์ เจริญวัย และธนัญชัย วรรณสุข. 2543. **การปลูกหญ้าในแปลงทดลอง: อิทธิพลของระบบการปล่อยน้ำเสียต่อผลผลิตและคุณภาพของหญ้าสตาร์ (*Cymodon plectostachyus*) หญ้าคาลล่า (*Leptochloa fusca*) หญ้าโคสครอส (*Sporobolus viginicus*)**. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ รายงานสรุปผลการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ. กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. **พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง**. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำเนา เพชรฉวี, วิศิษฐ์ โชลิตกุล, T. Igarashi และ T. Kubota. 2522. การอนุรักษ์ดินและน้ำในเขตใช้น้ำฝน. น. 87-127. *ใน* **การสัมมนาระดับชาติเรื่องการวิจัยและการพัฒนาการปลูกพืชในเขตใช้น้ำฝน**. จัดโดย กรมวิชาการเกษตร กองการเกษตรต่างประเทศ. องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน**. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

หิรัญ หิรัญรัตพงศ์. 2547. **ผลของการใช้น้ำเสียจากชุมชนจันทบุรีต่อผลผลิตและคุณภาพของหญ้าอาหารสัตว์ 2 ชนิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรทัย เชื้อวงษ์. 2550. **การศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ด้วยพุทธรักษา 3 พันธุ์ ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อาภรณ์ ยิ่งยง. 2539. **การบำบัดบีโอดีและซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อังษณา ตั้งใจครองบุญ. 2540. **การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำเสียชุมชนภายหลังการบำบัดโดยใช้ระบบดินในสภาพน้ำขังสลับแห้ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อังสนา โตกิจกล้า. 2537. **อิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของหญ้าคาลล่าร์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 19th (ed.). America Public Health Association, Washington, DC.

Alexander, M. 1961. **Introduction of Soil Microbiology**. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Black, C.A. 1968. **Soil-Plant Relationships**. 2nd ed. Wiley Eastern Private Limited, New Delhi. 792 p.

Bould, C. and E.J. Hewitt. 1963. **Mineral Nutrition of Plants in Soils and in Culture Media**. 15-133 pp. Ch.I in Plant Physiology a Treatise. Steward F.C. ed. Vol. III, Inorganic Nutrition of Plants. Academic Press, New York.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. **The Nature and Properties of Soils**. 13th ed. Prentice Hall, New York. 960 p.

Brix, H. and H.H. Schierup. 1989. **Management of domestic and municipal wastewater**, Danish experience with sewage treatment in constructed wetland, pp. 565-573. In D.a. Hammer (ed.). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Lewis Publishers, Inc., Michigan.

Clifton, C.E. 1957. **Introduction to Bacterial Physiology**. Mc Graw-Hill, New York. 416p.

GBarkman Art & Design. 2007. Karchesky Canna Collection. **The Collection of Dave Karchesky & Alice Harris**. Available Source: http://www.karcheskycanna.com., January 24, 2007.

Gomez, K.A. and A.A. Gomez. 1984. **Statistical Procedures for Agriculture Research**. 2nd(ed.). John Wiley&Sons. New York.

Hammer, D.A. and R.K.Bastian. 1989. **Wetland Ecosystems**: Natural water purifiers, pp. 5-19. In D.A. Hammer (ed.). Constructed Wetlands for Wastewater treatment. Lewis Publishers, Inc., Michigan.

Hammer, M.J. 1975. **Water and Wastewater Technology.** John Wiley & Sons, Inc., New York.

Harada, T., H. Hashimoto, and T.Yoshizawa. 1995. **The relationship between readily decomposable organic matter of paddy soil and its colloidal complexes**. Soil and Plant Food.

Hashimoto, H. and M. Ishikawa. 1965. **Studies on chemical compositions of composts and farm yard manure [in Japanese].** Bull. Ibaraki Pref. Agric. Exp. Stn. Cited in Inoko, A. 1984. Compost as a source of plant nutrients. 137:145 pp. In Organic Matter And Rice. Ponnamperuma, F.N., S. Banto and C.Y. Mendoza editors, IRRI 631 pages.

Hellriegel, H. 1983. **Beitrage zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus mit besonderer**. Berucksichtigung der agrikulturchemischen Methode der Sandkultur. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig.

Hennessy, D.W. 1980. **Protein nutrition of ruminants in the tropical areas at Australia**. Trop. Grasl. 14: 260.

Kadlec, R. H., R. L. Knight. 1996. **Treatment Wetlands**. CRC Press, Inc., Florida

Lange, A. 1938. **Untersuchungen uber den Wachstumsfaktor Wasser**. Landw. Jahrb. 85: 465-499.

Lagerwerft, J.V., W.H. Armiger and A.W. specht. 1973. Uptake of lead by alfalfa and corn from soil and air. **Soil Science.** 115: 455-459.

Lossli, J. K., V. Villegas, G.U. Garcia and L.A. Ynalyer. 1953. **The Digestibility by ruminants of para grass clupe Guatemala grass and corn silage**. The Philippine Agricuturist. 37:587-593.

Meidener, H. and D.W. Sheriff. 1976. **Water and Plant**. Blockie & Son Ltd., London. 122 p.

Metcalf and Eddy, Inc. 1991. **Wastewater engineering : treatment, disposal, and reuse.** 3nd ed, Mcgraw-hill, Inc., New York.

Millar, C.E., L.M. Turk and H.D. Foth. 1965. **Fundamental of Soil Science**. John Wiley&Sons, Inc., New York. 175 pp.

Mitsui, S. 1955. **Inorganic Nutrition Fertilization and Soil Amelioration for Lowland Rice**. 2d Yokendo Press, Tokyo.

Mills, R.H. 1974. Factor Affecting the Decomposition of an Anaerobically Digested Sewage Sludge in soil. **Environment Quality Journal,** U.S.A.

Minson, D.J. 1975. **Pasture management and animal nutrition**. In: Refresher Course Management of Improved Tropical Pasture. U. of Queensland, St. Lucia. Australia.

Minson, D.J. 1990. **The chemical composition and nutritive value of tropical grasses**. In: Tropical Grasses. Eds. P.J. Skerman and F. Riverose. Rome, FAO.

Moormann, F.R. and S. Rojanasoonthon. 1968. **Soils of Thailand**. SSR 72. Soil Survy Division Land Development Department. Ministry of Agriculture and Cooperation.

Pongphan. 1977. **Influence of submergence an inorganic phosphorus transformations and the relation between inorganic phosphorus and phosphorus availability by some chemical test of rice soils in central plain**. M.S. Thesis (Agricultural), Kasetsart University.

Ponnamperuma, F.N. 1965. **Dynamic aspects of flooded soils**. pp295-385. In Mineral Nutrition of the Rice Plant. Johns Hopkins Ppress, Baltimore. Md.

Ponnamperuma, F.N. 1972. **The chemistry of submerged soils**. Adv. In Agron. 24:29-96.

_____ . 1976. **Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility**. P. 1-27 In The Fertility of Paddy Soils in Fertilizer Application for Rice. Food and Fertilizer Technology Center. Taiwan. Cited in Patrick. W.H.Jr. and C.N.Reddy, 1978.

Prabuddham, P. 1975. **The composition levels of selected trace elements in soil form the major rice-producing regions of thailand and South Vietnam and some factor related to the abundance of these elements**. Ph.D. Thesis. Illionois Unive., Champaign-Urban Illinois, USA.

Ramig, R. E. and H. F. Rhoades. 1963. Interrelationship of soil moisture level at planting time and nitrogen fertilization on winter wheat production. **Agron. Jour.** 55: 123-127.

Reynolds, T.D. and Paul A. Richards. 1996. **Unit Operation and Process in Environmentan Engineering**. USA. PWS. Publishing company.798 p.

Russel, E.W. 1961. **Soil Conditions and Plant Growth**. 9th ed. John Wiley&Sons Ltd, New York. 688 p.

Russell, E.W. 1973. **Soil Condition and Plant Growth**. 10th ed., Longman Co., London. 849 p.

Salisbury, F.B. and C. Ross, 1969. **Plant Physiology**. Wadsworth Public. CO. Inc. California. p.747.

Salvato, J.A. Jr. 1982. **Environmental Engineering and Sanitation**. 3rd ed. John Wiley&Sons, Inc.

Strafford, G.A. 1963. **Plant Metabolism**. Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts.

Sutcriffe, J. 1979. **Plant and Water**. The Camelot Press Ltd, Southamption. 122 p.

Taylor, S.A. and G.L. Ashcroft, 1972**. Physical Edaphology: The Physics of Irigated and Nonirrigated Soils**. W.H. Freeman and Company San Francisco. 531 p.

Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1965. **Soil Fertility and Fertilizer**. 2nd edition. Collier Macmillan Ltd., London.

Tisdale, S. L. 1975. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillion, 1956. 450 p. (print 1903)

Tyner, E. H. and J. G. Davide. 1962. Some criteria for evaluating soil phosphorus tests for lowland rice soils. Trans. Joint Metting Comm. IV and V. Int. **Soc. Soil Sci.** New Zealand. 625-634 pp.

Walton, P.D. 1984. **Production and management of cultivated forages.** Reston Publishing Company, Inc. Virginia. USA. 335 p.

White, A., P. Handler, E.L. Smith and Stetten, D. Jr. 1959. **Principle of Biochemistry**. Mc Graw-Hill, New York. 1149p.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)		38.0	27.0	56.0	49.0	65.0	81.5	52.6
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	7.6	5.5	5.6	7.5	4.5	5.9	5.0
	2	6.6	5.4	5.1	6.7	4.2	6.2	6.0
	3	6.2	5.3	5.0	6.6	4.0	6.2	5.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	8.7	6.2	6.5	5.9	3.4	5.0	6.1
	2	8.0	6.3	5.6	5.7	3.2	4.4	5.6
	3	7.0	5.7	6.1	5.0	2.8	4.3	6.0
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	6.2	5.8	3.5	5.5	5.2	5.2	5.0
	2	6.5	6.3	5.3	5.6	5.6	7.2	5.9
	3	5.7	5.0	3.1	4.7	4.4	7.7	5.0
ดินเปล่า (S)	1	6.8	6.5	4.4	7.1	5.3	7.3	5.9
	2	6.3	5.8	5.1	6.0	5.2	6.1	6.2
	3	7.0	6.0	4.3	6.2	5.0	6.3	6.0
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)		9.2	9.6	7.5	7.6	8.0	8.6	8.4
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	2.4	1.2	1.5	1.1	1.1	1.6	1.9
	2	2.4	1.3	2.2	1.4	0.8	1.7	1.5
	3	2.6	1.1	1.2	1.8	0.7	1.9	1.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	2.9	1.7	2.0	0.9	1.2	1.7	1.6
	2	2.5	1.2	2.3	1.0	0.7	1.9	1.2
	3	2.8	1.5	2.6	1.2	0.8	1.7	1.9
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	3.8	1.3	1.6	2.2	0.9	0.8	1.8
	2	3.8	1.6	1.3	1.7	1.0	1.2	2.0
	3	3.8	1.6	1.3	1.7	1.0	1.2	2.0
ดินเปล่า (S)	1	2.0	1.1	1.6	1.8	0.8	1.1	1.1
	2	1.9	0.8	1.2	2.4	0.8	1.1	1.4
	3	1.6	1.2	1.1	2.2	0.8	1.4	1.5

ตารางผนวกที่ 2 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)		7.6	7.5	7.6	7.4	7.2	7.5	7.1
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	7.8	7.1	7.2	7.4	7.4	7.1	6.9
	2	7.6	7.2	7.5	7.3	6.9	7.1	7.1
	3	7.5	7.3	7.2	7.0	7.0	6.8	6.8
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	7.2	7.3	8.0	7.2	7.1	6.9	7.2
	2	7.6	7.5	7.2	7.4	7.2	7.0	7.3
	3	7.3	7.1	7.0	7.1	6.8	7.2	7.1
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	7.8	7.4	7.6	7.2	7.0	7.1	7.3
	2	7.6	7.2	7.4	7.1	7.0	7.1	7.3
	3	7.5	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	7.5
ดินเปล่า (S)	1	7.8	7.2	7.3	7.3	7.5	7.1	8.1
	2	7.7	7.2	7.4	7.4	7.5	7.0	7.2
	3	7.3	7.4	7.4	7.3	7.5	7.2	7.3
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)		7.8	7.9	7.8	7.7	7.5	7.6	7.7
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	7.5	7.2	7.3	7.0	7.1	7.1	7.5
	2	7.3	7.3	7.5	7.1	6.8	7.2	7.4
	3	7.8	7.5	7.3	7.1	7.2	7.1	7.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	7.3	7.4	7.6	7.4	7.1	7.3	7.6
	2	7.1	7.6	7.4	7.1	7.4	7.2	7.5
	3	7.3	7.8	7.5	7.2	7.0	7.4	7.5
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	7.8	7.3	7.3	7.2	7.2	7.1	7.2
	2	7.6	7.7	7.5	7.3	7.3	7.2	7.8
	3	7.6	7.7	7.6	7.3	7.1	7.5	7.7
ดินเปล่า (S)	1	7.5	7.7	7.8	7.4	7.2	7.3	7.6
	2	7.4	7.5	7.2	7.2	7.1	7.4	7.3
	3	7.5	7.6	8.1	7.5	7.2	7.3	7.5

ตารางผนวกที่ 3 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)		37.4	41.1	45.0	43.4	49.2	50.7	44.5
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	3.1	2.6	2.9	3.0	2.5	2.2	2.8
	2	2.8	2.7	2.8	2.7	3.0	2.9	3.1
	3	3.0	2.7	2.6	2.7	2.5	2.4	2.6
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	2.3	1.9	2.2	2.9	2.7	2.8	2.4
	2	2.1	2.0	2.0	2.8	2.8	2.3	2.3
	3	2.1	1.8	1.9	2.6	2.2	1.9	2.4
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	2.1	2.2	1.9	3.2	2.6	2.5	2.7
	2	2.5	2.8	2.0	2.9	2.8	3.5	2.3
	3	2.3	2.6	2.1	2.8	2.4	2.2	2.4
ดินเปล่า (S)	1	3.0	2.9	2.7	3.6	3.4	3.2	2.9
	2	2.9	2.6	2.5	2.8	3.1	2.8	2.5
	3	2.7	2.5	2.7	3.6	3.0	2.7	3.2
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)		3.7	2.9	5.0	4.5	2.9	2.7	3.6
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	1.2	1.3	1.6	1.6	1.9	2.2	1.6
	2	1.0	1.6	1.8	1.5	1.5	1.9	1.4
	3	1.5	1.2	1.6	1.4	1.6	1.6	1.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	1.1	1.4	1.8	1.7	2.5	2.1	1.8
	2	0.9	1.3	1.6	1.9	2.1	2.3	2.1
	3	1.3	1.2	1.7	1.8	2.0	1.9	1.4
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	1.1	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.4
	2	0.9	1.1	0.9	1.6	1.7	1.4	1.1
	3	1.4	1.2	1.2	1.4	1.6	1.4	1.4
ดินเปล่า (S)	1	1.5	2.1	1.8	2.1	2.0	1.8	1.6
	2	1.9	2.1	2.1	1.7	1.7	2.0	1.8
	3	2.1	1.7	1.8	1.8	1.9	1.6	2.4

ตารางผนวกที่ 4 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)		10.8	10.9	12.6	15.1	18.2	18.8	18.8
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	1.1	1.5	1.0	0.9	1.4	0.8	1.2
	2	1.2	1.1	1.1	0.8	1.2	0.9	1.1
	3	0.9	1.0	1.1	0.8	1.3	0.9	1.0
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	1.2	1.2	1.0	1.2	1.0	0.9	1.1
	2	1.1	0.9	1.2	1.3	0.9	0.8	1.1
	3	1.1	0.9	1.1	1.1	0.9	0.8	1.0
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	1.4	1.1	0.9	1.3	1.3	0.9	1.2
	2	1.2	1.0	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1
	3	1.2	0.9	1.0	1.3	1.2	1.1	1.1
ดินเปล่า (S)	1	1.1	1.1	0.7	0.8	1.1	0.9	1.0
	2	1.4	0.9	0.7	0.9	1.2	1.0	1.0
	3	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.1	1.0
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)		1.9	1.3	1.1	1.4	1.3	1.2	1.3
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	0.9	0.9
	2	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	0.9	0.8
	3	0.8	0.9	1.0	1.2	1.0	0.8	0.9
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	0.8	1.1	1.0	1.1	1.0	0.7	0.8
	2	0.8	0.6	0.9	1.0	1.0	0.6	0.9
	3	1.0	0.7	1.1	0.9	1.2	0.7	1.0
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	0.7	0.9	0.8	1.3	0.9	0.7	0.8
	2	0.6	1.1	0.9	1.1	1.0	0.7	0.6
	3	0.5	0.8	1.0	1.1	1.0	0.8	0.7
ดินเปล่า (S)	1	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9
	2	0.6	0.9	0.7	1.0	1.0	0.8	0.8
	3	0.7	0.6	0.6	0.8	0.9	0.8	0.8

ตารางผนวกที่ 5 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)		4.8	5.5	6.6	4.3	5.2	4.4	5.1
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2
	2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4
	2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
	3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	0.3	0.2	0.4	0.2	0.4	0.3	0.4
	2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4
	3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2
ดินเปล่า (S)	1	0.3	0.3	0.4	0.6	0.4	0.3	0.2
	2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3
	3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)		0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
	3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
ดินเปล่า (S)	1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

ตารางผนวกที่ 6 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (เปอร์เซ็นต์) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	88.5	90.5	95.7	92.9	97.5	97.5	94.5
	2	87.1	87.8	93.3	91.9	95.7	95.3	93.1
	3	91.2	88.8	94.2	90.8	95.4	93.1	93.6
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	87.7	88.2	94.4	94.7	97.9	97.4	93.7
	2	86.5	86.8	93.2	92.1	97.1	96	93.9
	3	85.3	84.3	92.9	91.8	96.8	95.1	92.8
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	90.1	88.2	96.5	94.6	96.2	95.2	94.5
	2	88.1	87	94.7	92.4	93.7	93.4	93.1
	3	90	88.1	95.6	93.9	95.1	94.9	93.6
ดินเปล่า (S)	1	89.7	87.2	95.7	93.2	95.7	95.9	94.1
	2	89.8	86.5	94.8	93.1	94.2	93.5	91.7
	3	87.3	86.6	94.1	90.4	93.6	95.9	91.3
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	85.3	93.2	85.4	87.3	94.7	85.9	88.9
	2	83.1	92.1	83.2	89.7	92.1	83.5	86.9
	3	82.7	92.6	84.1	89.7	91.8	84.6	87.8
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	80.9	91.9	83.7	87.3	94.7	85.9	88.9
	2	81.4	89.5	79.5	89.7	92.1	83.5	86.9
	3	81.7	89.1	80.6	89.7	91.8	84.6	87.8
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	71.7	90.2	88.8	84.5	91.9	91.4	88.6
	2	76.5	91.1	86.8	85.1	91.1	91.6	87.2
	3	70.9	89.2	87.9	84.2	93.8	93.7	84.5
ดินเปล่า (S)	1	88.6	94.8	90.7	84.5	93.7	93.2	91.5
	2	86.7	92.8	89.3	83.9	94.3	91.7	89.8
	3	89.2	94.8	89.9	84.5	94	91.1	91.1

ตารางผนวกที่ 7 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	94.2	96.5	97.4	97.4	96.9	96.6	95.9
	2	94.9	96.4	96.1	95.4	96.6	96.6	95.4
	3	95.2	96.4	95.5	95.9	96.8	97.3	97.4
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	96.2	97.4	97.7	96.2	96.2	96.9	96.9
	2	95.4	97.1	97	96.1	96.9	97.6	97.1
	3	97.5	97.1	97.2	96.4	97.1	97.1	96.2
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	96.2	97.4	97.5	95.9	96.9	96.9	96.9
	2	95.7	96.6	97.4	94.5	96.5	96.2	96
	3	95.8	95.2	97.1	97.4	96.2	96.1	96.4
ดินเปล่า (S)	1	95.4	96.2	96.8	96	96.6	97.1	96.4
	2	94.1	96.2	96.7	95.1	95.9	96.5	96.1
	3	96.4	95.6	95.8	94.8	96.6	96.3	95.5
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	80.1	70.7	79.8	78	61.5	52.1	70.5
	2	84.2	74.7	76.9	76.5	70.8	53.1	74.5
	3	77.3	75.5	82.8	85	67.9	62.8	75.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	80.3	61.7	78	75.3	59.5	52.7	61.1
	2	80.3	70.3	79.2	71.2	65.5	60.6	69.3
	3	82.3	83.8	80.8	82.5	54.3	53.8	79.8
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	82.7	64.3	89.6	80	68.4	69.1	77.8
	2	81.9	72.4	85.1	79.4	62.3	64.4	76.9
	3	83.9	85.7	81.6	82.1	67.4	64.4	78.8
ดินเปล่า (S)	1	61.7	58.7	78.8	74.5	61.3	54.7	66.3
	2	70.3	59.8	75	76	60.4	52.3	70.8
	3	79.5	63.9	80.5	77.3	59.9	67.9	68.9

ตารางผนวกที่ 8 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์) หลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	93.1	94.3	94.4	95.5	95.1	97.4	94.8
	2	93.3	93.9	94.5	96.6	94.4	97.4	95.8
	3	93.4	93.5	95.6	97.5	96.2	97.9	96.9
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	93	94.5	95.6	94.2	96.6	97.3	95.5
	2	93.5	93.4	94.6	95.9	95.3	97.1	94.6
	3	93.8	95.7	95.5	96.9	97.8	97.7	96.9
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	93.4	94.6	93.7	95.1	95.9	95.8	94.4
	2	91.7	94.3	96.4	94.4	94.5	96.5	96.4
	3	92.8	95	96.7	96.5	95.8	96.8	94.8
ดินเปล่า (S)	1	92.5	93.1	95.5	95.4	95	95.9	95.9
	2	93.9	94.1	96.1	96.2	97.1	97.3	94.3
	3	94.9	95.7	94.7	97.2	97.5	96.1	96.8
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	77.1	64.8	49.9	56.8	50.5	58.8	57.9
	2	77.7	60.2	50.8	56.1	51.8	57.2	58.4
	3	78.9	66.1	53.5	57.5	53.5	58.8	59.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	73	50.1	37.9	54.2	56.1	69.7	58.8
	2	72.1	52.2	38.1	50.7	57.3	74.8	57.2
	3	74.2	53	41.4	55.5	58.5	70	59.9
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	76.4	50.5	54.9	54.5	58.7	61.8	62.7
	2	81.6	53.5	54.8	51.7	57.2	63.8	62.5
	3	81.6	66	57.2	55.5	56.4	67.3	61.3
ดินเปล่า (S)	1	75.2	63.4	72.6	61.5	69.5	56.9	66.1
	2	80.3	64.9	61.1	60.4	55.2	59.3	62.9
	3	77.5	66.8	56.6	68.3	50.2	58.8	61.8

ตารางผนวกที่ 9 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) หลังการบำบัดด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	สัปดาห์ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	98.3	98.8	97.6	96.7	96	95.9	97.9
	2	98.8	98.9	97.1	94.4	96.5	95.8	97.7
	3	95.9	95.5	96.1	94.9	95.5	98.3	96.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	95.5	94.8	95.6	94.8	95.9	95.3	96.4
	2	96.6	96.4	97.6	97.9	97.7	98.1	96.2
	3							
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	97.7	98.1	97.5	96.5	93.8	94.3	96
	2	96.9	97.7	97.7	97.5	94.7	95.5	96.5
	3	97.1	97.9	96.5	97.6	96.8	96.4	96.5
ดินเปล่า (S)	1	98.5	96.6	96.6	93.5	94.9	97.1	96.3
	2	98.7	96.6	95.3	94.4	95.7	94.7	96.4
	3	98.8	96.5	96.9	95.1	95.8	95.8	96.5
ก. ในน้ำชลประทาน (W_2)								
ข. เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว								
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	59.3	42	41.1	35.8	42.1	39.9	40.7
	2	61.9	39.3	38.3	39.6	39	37.4	39.3
	3	58.8	42	42.5	43.1	48.2	34.8	41
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	59.6	37.4	38.7	43.2	46.6	45.6	54.7
	2	53.5	34.8	40.4	40.4	44.5	43.5	62.8
	3	59.4	39.9	38.1	38.7	42.4	40.2	62.7
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	36.8	8.3	20.6	42.5	37.5	49.2	38.5
	2	37.4	5.1	16.6	39.4	42.5	68.7	40.4
	3	35.1	5.4	18.9	42.3	35.3	59.6	36.9
ดินเปล่า (S)	1	79.7	5.5	23.8	20	35.4	40.1	41.8
	2	78.5	13.8	22.9	20.3	37.1	37.6	39.3
	3	81.3	27	22.9	31.7	46.8	34.8	41.3

ตารางผนวกที่ 10 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อค่าความสูง (เซนติเมตร) ของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)									
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	35.7	54.3	65.8	70.3	85.4	96.9	108.4	119.9
	2	39.7	56.9	67.3	75.7	86.3	101.2	109.1	121.0
	3	34.0	56.5	64.1	73.1	85.2	94.7	108.4	114.2
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	38.7	44.7	59.4	69.2	81.1	95.2	96.5	99.0
	2	39.2	42.6	58.4	69.0	82.4	96.2	97.8	103.7
	3	35.8	48.6	63.1	74.2	88.1	100.5	108.3	114.2
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	34.8	41.0	45.3	54.3	70.3	91.2	96.5	100.4
	2	35.9	42.4	48.4	55.0	78.6	97.4	101.2	108.1
	3	34.7	38.6	43.3	54.0	69.9	80.2	89.5	96.1
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)									
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	35.0	49.3	52.6	59.4	82.0	96.6	102.0	109.0
	2	36.7	57.2	61.3	73.2	87.5	99.4	101.8	105.5
	3	36.4	52.5	59.1	61.2	76.4	93.8	102.3	112.4
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	35.7	44.3	57.4	63.6	75.9	92.2	95.9	97.6
	2	37.2	40.6	54.1	60.6	74.8	85.4	86.1	86.6
	3	38.8	44.5	58.8	66.1	81.7	93.8	89.6	102.6
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	33.1	40.7	44.1	53.8	63.4	76.0	83.9	89.0
	2	34.2	41.4	43.6	47.4	66.5	84.0	84.3	84.5
	3	35.7	39.7	45.4	52.7	67.5	76.5	89.9	94.4

ตารางผนวกที่ 11 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อน้ำหนักสด (กรัมต่อบ่อ) ของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)		
		4	6	8
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	221	726	820
	2	238	874	990
	3	231	801	895
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	115	373	840
	2	111	323	690
	3	130	485	1,240
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	193	599	1,040
	2	194	605	1,046
	3	182	550	940
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	185	396	615
	2	220	696	807
	3	196	457	652
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	90	244	384
	2	72	142	342
	3	96	286	530
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	178	433	750
	2	114	311	467
	3	151	424	722

ตารางผนวกที่ 12 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อบ่อ) ของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)		
		4	6	8
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	95.7	153.9	228.8
	2	110.7	188.2	268.6
	3	100.8	173.2	228.6
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	44.0	133.1	275.0
	2	41.5	120.2	215.4
	3	47.2	195.5	284.0
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	54.1	158.0	226.3
	2	57.7	168.7	235.6
	3	50.0	150.2	210.8
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	64.2	112.4	204.7
	2	80.2	135.9	227.8
	3	66.5	134.8	215.4
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	38.6	86.2	153.0
	2	28.7	80.2	163.3
	3	37.8	103.9	181.5
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	52.8	120.3	178.0
	2	37.3	94.0	125.0
	3	38.3	106.3	162.8

ตารางผนวกที่ 13 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ในพืชสดของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)		
		4	6	8
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	56.7	78.8	72.1
	2	53.5	78.5	72.9
	3	56.4	78.4	74.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	61.7	64.3	67.3
	2	62.6	62.8	68.8
	3	63.7	59.7	77.1
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	72.0	73.6	78.2
	2	70.3	72.1	77.5
	3	72.5	72.7	74.5
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	65.3	71.6	76.3
	2	63.5	80.5	73.2
	3	66.1	70.5	77.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	57.1	64.7	60.2
	2	60.1	43.5	52.3
	3	60.6	63.7	65.8
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	70.3	72.2	76.3
	2	67.3	69.8	73.2
	3	74.6	74.9	77.5

ตารางผนวกที่ 14 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อปริมาณน้ำ (ร้อยละ) ของพืชแห้งของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกด้วยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)		
		4	6	8
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	130.9	371.7	258.4
	2	115.0	364.4	268.6
	3	129.2	362.5	291.5
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	161.4	180.2	205.5
	2	167.5	168.7	220.3
	3	175.4	148.1	336.6
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	256.7	279.1	359.6
	2	236.2	258.6	344.0
	3	264.0	266.2	345.9
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	188.2	252.3	200.4
	2	174.3	412.1	254.3
	3	194.7	239.0	202.7
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	133.2	183.1	151.0
	2	150.9	177.1	109.4
	3	154.0	175.3	192.0
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	237.1	259.9	321.3
	2	205.6	230.9	273.6
	3	294.3	298.9	343.5

ตารางผนวกที่ 15 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีต่อความเข้มข้น (ร้อยละ) ของไนโตรเจนในพืชแห้งของหญ้า 3 ชนิด ที่ปลูกในระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช

ชนิดพืช	ซ้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)		
		4	6	8
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	0.680	2.510	1.763
	2	0.670	1.910	1.730
	3	0.680	2.150	1.790
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	1.120	2.290	2.080
	2	1.230	2.461	1.560
	3	0.941	1.901	1.421
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	0.880	1.590	1.4440
	2	0.861	1.520	1.370
	3	0.901	1.610	1.453
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	0.650	2.080	1.710
	2	0.570	2.070	1.610
	3	0.581	2.850	1.507
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	0.510	1.680	1.446
	2	0.710	2.010	1.690
	3	0.578	1.990	1.467
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	0.440	1.470	1.030
	2	0.621	1.381	1.309
	3	0.530	1.430	1.341

ตารางผนวกที่ 16 อิทธิพลของแหล่งน้ำและชนิดพืชที่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดดึง (มิลลิกรัม/บ่อ) ภายหลังการทดลองครบ 8 สัปดาห์

ชนิดพืช	ซ้ำ	อายุพืชหลังการทดลอง (สัปดาห์)		
		4	6	8
ก. ในน้ำเสียชุมชน (W_1)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	651	3,864	4,034
	2	742	3,595	4,646
	3	685	3,724	4,093
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	493	3,047	5,720
	2	511	2,958	3,360
	3	444	3,716	4,035
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	476	2,513	3,259
	2	497	2,564	3,227
	3	450	2,418	3,063
ข. ในน้ำชลประทาน (W_2)				
หญ้าสตาร์ (P_1)	1	417	2,338	3,501
	2	457	2,814	3,667
	3	386	3,841	3,247
หญ้าคาลล่าร์ (P_2)	1	197	1,448	2,213
	2	204	1,612	2,759
	3	218	2,068	2,663
หญ้าอุบลพาสพาลัม (P_3)	1	232	1,769	1,834
	2	232	1,298	1,636
	3	203	1,521	2,183

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายนาวี จันทร์วงษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 25 สิงหาคม 2517
สถานที่เกิด	พิษณุโลก
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีครุศาสตร์บัณฑิต (คบ.) สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ