



วิทยานิพนธ์

การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
ด้านก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำ

**WATER MANAGEMENT IN PADDY FIELD FOR REDUCTION
OF ENVIRONMENTAL IMPACTS ON METHANE
AND WATER QUALITY**

นางสาวอัจฉรา ชุมวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน

วิศวกรรมชลประทาน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำ

Water Management in Paddy Field for Reduction of Environmental Impacts on Methane and Water Quality

นามผู้วิจัย นางสาวอัจฉรา ชุมวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วราวุธ วุฒิวณิชย์, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์วิสุทธิ์ วีรสาร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำ

Water Management in Paddy Field for Reduction of Environmental Impacts
on Methane and Water Quality

โดย

นางสาวอังคณา ชุมวงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

พ.ศ. 2551

อัจฉรา ชุมวงศ์ 2551: การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D. 304 หน้า

ประเทศไทยมีการทำนาแบบดั้งเดิมจำนวนมากโดยที่เกษตรกรส่งน้ำให้นาข้าวมากกว่าความต้องการน้ำของข้าวเพื่อป้องกันวัชพืชและรักษาระดับน้ำไว้ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึมและระบายน้ำทิ้งซึ่งเป็นการไม่ประหยัดน้ำและส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดก๊าซมีเทนแพร่กระจายสู่บรรยากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้นอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งหาแนวทางการจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมดังกล่าว โดยได้ศึกษาการจัดการน้ำในนาข้าวแบบน้ำตื้น (10 ถึง 5 เซนติเมตร) แบบเปียกสลับแห้ง (5 ถึง -5 เซนติเมตร) และแบบดั้งเดิม (30 ถึง 20 เซนติเมตร) ทำการตรวจวัดข้อมูลอย่างสม่ำเสมอจากนาปรังและนาปี พ.ศ.2549 ในลุ่มน้ำแม่กลอง จากการวิเคราะห์ผลพบว่าที่ระดับน้ำท่วมขังในนาข้าวสูงกว่าและนานกว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณมีเทนและคุณภาพน้ำมากกว่า โดยแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบมากที่สุด แบบน้ำตื้นส่งผลน้อย แบบน้ำตื้นร่วมกับแบบเปียกสลับแห้งส่งผลน้อยกว่า และแบบเปียกสลับแห้งส่งผลกระทบต่อที่น้อยที่สุดคือเกิดมีเทนในนาข้าวรวมทั้งไนเตรทและฟอสเฟตในคลองระบายน้ำน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิมพบว่าการจัดการน้ำทั้ง 4 แบบที่ศึกษาสามารถลดปริมาณมีเทนความเข้มข้นไนเตรทและฟอสเฟตได้ 20-81%, 51-61% และ 97-98% ตามลำดับ รวมทั้งประหยัดน้ำได้ประมาณ 40-63 % โดยผลผลิตข้าวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนคุณภาพดินพบว่าให้ผลการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากทำการศึกษาในช่วงเวลาสั้น ดังนั้นการจัดการน้ำที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณน้ำใช้และช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านบรรยากาศและน้ำ ตลอดจนเป็นแนวทางในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้นภายใต้เงื่อนไขระบบนิเวศที่ดีกว่า

Achara Chumvong 2008: Water Management in Paddy Field for Reduction of Environmental Impacts on Methane and Water Quality. Doctor of Engineering, (Irrigation Engineering), Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Bancha Kwanyuen, Ph.D. 304 pages.

Under traditional practice of paddy fields in Thailand, farmers irrigate more water than crop water requirement for weed control and water supply assurance. This practice wastes a lot of water through percolation and drainage and also effects on water quality. Moreover, continuous flooding induces methane gas emission into atmosphere which leads to global warming. Therefore, this research was focused on water management in paddy fields to find suitable water management to reduce environmental impacts by applying the shallow water depth (10 to 5 cm.), the alternate wetting and drying (5 to -5 cm.) and the traditional irrigation (30 to 20 cm.). Samples were regularly collected from paddy fields during the dry and rainy seasons of 2006 in the MaeKlong river basin, Thailand. The results showed that higher and longer flooding period of paddy field increased methane emission and reduced water quality. The traditional irrigation induced the highest impacts on methane emission and water quality, while the shallow water depth and the combination of shallow water depth with drying period showed less impacts, respectively. Moreover the combination of wet and dry periods gave the lowest methane emission in paddy field and nitrate and phosphate concentrations in drainage canal. In comparison with traditional irrigation, the proposed methods indicated that methane emission, nitrate and phosphate concentrations were reduced between 20–81%, 51-61% and 97-98%, respectively. In addition, the quantity of water supply decreased between 40–63% without any significant yield reductions. However, the impacts of irrigation methods on soil quality was inconclusive due to a short period of study. In conclusion, the proper water management is an effective way to reduce water use and enhance sustainable environmental condition of atmosphere and water resources. Furthermore, proper water management may also improve quality of life and better condition of ecosystem.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์โดยได้รับความร่วมมือจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รศ.ดร.บัญชา ขวัญยืน ประธานกรรมการ รศ.ดร. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และดร.วิสุทธิ วีรสาร กรรมการวิชาเอก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและให้กำลังใจในการทำงานวิจัย ตลอดจนใส่ใจในการติดตามความก้าวหน้าของการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอดและขอขอบคุณ ศ.ดร. สุนทรีย์ ยิ่งชัชวาลย์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้สละเวลาให้ข้อแนะนำเพิ่มเติม ขอขอบคุณ รศ.ดร. สิรินทรเทพ ใต้ประยูร ผศ. ดร. อำนาจ ชิตไทสง และ ผศ. ดร. สาวิตรี การีเวทย์ ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับการทดลอง และการวิเคราะห์ด้านภูมิอากาศ

ขอขอบคุณคุณสรายุทธ รัตนนคร คุณพันธ์ชัย บุญเพ็ญ คุณชุมพล ต้นเจริญ คุณภิรมย์ ขันทอง คุณศรชัย สิทธิรักษ์ พีจรรยา พีศรีนวล น้องสมหมายและเจ้าหน้าที่ทุกคนของสถานีทดลอง การใช้น้ำชลประทานที่ 5 ขอขอบคุณคุณเอกจิต ไตรภาควาสิน คุณสมคิด โค้วเจริญสุข คุณไพวัน เวียงสิมมา และเกษตรกรที่ให้สถานที่พักและเก็บอุปกรณ์ ขอขอบคุณคุณสุรพล จัตุพร คุณเฉลิมชาติ และพี่ๆจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี คณะสัตวแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รวมทั้ง กรมชลประทานต้นสังกัดที่ให้ข้าพเจ้าได้มาศึกษาต่อ ขอขอบคุณ คุณวิษณุ ศรีวงษา คุณยุทธนา ตาละลักขมณัฏ์ คุณเสวต ต้นพลีรัตน์ คุณประวิทย์ ตูลาพันธ์ คุณกนกศักดิ์ ตัสมา คุณสุรสิทธิ์ อินทรประชา คุณมานพ บุญยประสิทธิ์ คุณสมเกียรติ ตั้งจตุพร ตลอดจนผู้ร่วมงานในกลุ่ม ออกแบบเขื่อนทุกท่าน อีกทั้งคุณวิระชัย คุณลำจวน คุณพัชรวีร์ คุณสิริพรและคุณทอมตลอดจน ดร.อารีญา คุณวรวิมล คุณอรุรินทร์ และคุณฉวีวรรณรวมทั้ง ดร.ภักดี มะนะเวศ ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมชลประทานรวมทั้งทุกท่านที่มีได้กล่าวนามในที่นี้ อนึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ไม่ได้ถ้าขาดแหล่งทุนสนับสนุน ดังนั้นข้าพเจ้าขอขอบคุณแหล่งทุนต่างๆ ได้แก่ ทุนสนับสนุนและพัฒนางานวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนพัฒนางานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาและทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแต่คุณพ่อจิดร์และคุณแม่สุดา ชุมวงศ์ที่ได้อบรม ให้กำลังใจและทุนทรัพย์แก่ผู้วิจัยมาตลอด รวมทั้งคุณเกษม ลือตระกูลคู่สมรสตลอดจนพี่และน้องร่วมสายโลหิตที่คอยสนับสนุนในทุกเรื่องเพื่อสร้างแรงผลักดันในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า

อัจฉรา ชุมวงศ์
พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	67
อุปกรณ์	67
วิธีการ	67
ผลและวิจารณ์	83
สรุปและข้อเสนอแนะ	157
สรุป	157
ข้อเสนอแนะ	159
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	161
ภาคผนวก	178
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	304

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำสุทธิที่ให้ในแปลงภายใต้รูปแบบของการให้น้ำต่างๆ ในพื้นที่แคว้นอิสระกึ่งซีประเทศจีน	8
2	ปริมาณน้ำสุทธิที่ให้ในแปลงภายใต้รูปแบบของการให้น้ำต่างๆ ในพื้นที่จังหวัดซีเกียงประเทศจีน	9
3	ผลผลิตข้าวจากการจัดการน้ำแบบต่างๆ	12
4	ผลผลิตข้าวภายใต้รูปแบบของการให้น้ำแบบเทคนิคประหยัดน้ำ (WSI) ในประเทศจีน	13
5	ประสิทธิผลการใช้น้ำภายใต้รูปแบบของการให้น้ำแบบเทคนิคประหยัดน้ำ (WSI) ในประเทศจีน	14
6	คำแนะนำสำหรับ Rate constant ในกระบวนการเปลี่ยนรูปต่างๆ ของ ไนโตรเจน	59
7	การสูญเสียปุ๋ยจากการรั่วซึมเลยเขตรากพืชในแปลงภายใต้การให้น้ำ แบบ TRI ที่เมืองกุ้ยหลิน ประเทศจีน ปี 2535	62
8	การจัดการน้ำในนาข้าวที่ช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละเงื่อนไข	70
9	ปริมาณน้ำที่ใช้ในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ ในฤดูที่ 1	86
10	ประสิทธิผลการใช้น้ำเฉลี่ยในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ ในฤดูที่ 1	87
11	ปริมาณน้ำที่ใช้ในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ ในฤดูที่ 2	91
12	ประสิทธิผลการใช้น้ำเฉลี่ยในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ ในฤดูที่ 2	92
13	รายละเอียดข้อมูลการแพร่กระจายของมีเทนในนาข้าวฤดูที่ 1	96
14	รายละเอียดข้อมูลการแพร่กระจายของมีเทนในนาข้าวฤดูที่ 2	98
15	ค่าพารามิเตอร์จากการเปรียบเทียบแบบจำลองสมดุลไนโตรเจน	111
16	ค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพดินในการจัดการน้ำแบบต่างๆ ฤดูที่ 1	153
17	ค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพดินในการจัดการน้ำแบบต่างๆ ฤดูที่ 2	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ข้อมูลภูมิอากาศทั่วไปในสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 จังหวัดนครปฐม	179
2	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน SS การทดลองซ้ำที่ 1	184
3	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน SS การทดลองซ้ำที่ 2	187
4	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน SS การทดลองซ้ำที่ 3	190
5	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน SA การทดลองซ้ำที่ 1	193
6	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน SA การทดลองซ้ำที่ 2	196
7	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน SA การทดลองซ้ำที่ 3	199
8	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน AS การทดลองซ้ำที่ 1	202
9	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน AS การทดลองซ้ำที่ 2	205
10	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน AS การทดลองซ้ำที่ 3	208
11	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน AA การทดลองซ้ำที่ 1	211
12	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน AA การทดลองซ้ำที่ 2	214
13	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน AA การทดลองซ้ำที่ 3	217
14	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน TT การทดลองซ้ำที่ 1	220
15	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน TT การทดลองซ้ำที่ 2	223
16	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 ฤดูฝน TT การทดลองซ้ำที่ 3	226
17	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน SS การทดลองซ้ำที่ 1	229
18	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน SS การทดลองซ้ำที่ 2	232
19	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน SS การทดลองซ้ำที่ 3	235
20	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน SA การทดลองซ้ำที่ 1	238
21	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน SA การทดลองซ้ำที่ 2	241
22	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน SA การทดลองซ้ำที่ 3	244
23	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน AS การทดลองซ้ำที่ 1	247
24	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 ฤดูฝน AS การทดลองซ้ำที่ 2	250

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
25	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข AS การทดลองซ้ำที่ 3	253
26	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข AA การทดลองซ้ำที่ 1	256
27	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข AA การทดลองซ้ำที่ 2	259
28	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข AA การทดลองซ้ำที่ 3	262
29	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข TT การทดลองซ้ำที่ 1	265
30	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข TT การทดลองซ้ำที่ 2	268
31	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข TT การทดลองซ้ำที่ 3	271
32	ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการจัดการน้ำต่างๆในนาข้าวฤดูที่ 1	274
33	ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการจัดการน้ำต่างๆในนาข้าวฤดูที่ 2	274
34	ปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายจากเกือบไขการจัดการน้ำต่างๆ ในนาข้าวฤดูที่ 1	275
35	ปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายจากเกือบไขการจัดการน้ำต่างๆ ในนาข้าวฤดูที่ 2	275
36	ความเข้มข้นของไนเตรทในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1	276
37	ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1	277
38	ความเข้มข้นของฟอสเฟตในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1	278
39	ค่า pH ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1	279
40	ค่า BOD ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1	280
41	ค่าอุณหภูมิในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1	281
42	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1	282
43	ความเข้มข้นของไนเตรทในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2	283
44	ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2	284
45	ความเข้มข้นของฟอสเฟตในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2	285
46	ค่า pH ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2	286
47	ค่า BOD ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2	287
48	ค่าอุณหภูมิในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2	288
49	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2	289

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รายละเอียดการควบคุมระดับน้ำแบบ SWD, AWD และ SDC ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว	10
2	กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน	18
3	ความสัมพันธ์ระหว่างการใส่ organic C และการแพร่กระจายของมีเทน	23
4	กราฟเปรียบเทียบการเกิดมีเทนที่ scenario ต่างๆ โดยเปลี่ยนค่า pH และชนิดดิน	24
5	การเกิดปฏิกิริยาในดินที่ค่า Eh ต่างๆ	26
6	ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของมีเทนและค่า Eh ที่การจัดการน้ำต่างๆ ในดิน 2 ชนิด	27
7	การลดปริมาณมีเทนในนาข้าวจากการแย่งสารตั้งต้นของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต	29
8	การเกิดมีเทนในนาข้าวจากกรณีพื้นที่ข้าวและชนิดดินแตกต่างกัน	31
9	การเคลื่อนย้ายมีเทนไปในบรรยากาศ	33
10	โครงสร้างแบบจำลอง DNDC	35
11	กราฟเปรียบเทียบการเกิดมีเทนที่ scenario ต่างๆของการให้น้ำโดยให้ pH=7	37
12	สมดุลน้ำในนาข้าว	50
13	การเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนในกระบวนการต่างๆ ในนาข้าว	54
14	ผังแปลงทดลอง	69
15	ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของมีเทนและเวลาที่ครอบ	75
16	ไดอะแกรมสำหรับ the dissolved nitrogen model	78
17	การจัดการน้ำต่างๆ ในนาข้าวฤดูที่ 1 โดยที่ SS1 หมายถึงการจัดการน้ำแบบ SS ฤดูที่ 1	86
18	การจัดการน้ำต่างๆ ในนาข้าวฤดูที่ 2 โดยที่ SS2 หมายถึงการจัดการน้ำแบบ SS ฤดูที่ 2	90
19	ปริมาณมีเทนในนาข้าวที่ระยะเวลาต่างๆในแต่ละการจัดการน้ำฤดูที่ 1	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ปริมาณมีเทนในนาข้าวที่ระยะเวลาต่างๆในแต่ละการจัดการน้ำฤดูที่ 2	97
22	เปรียบเทียบปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายในนาข้าวที่ระยะเวลาต่างๆ ฤดูที่1	98
23	เปรียบเทียบปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายในนาข้าวที่ระยะเวลาต่างๆ ฤดูที่2	99
24	เปรียบเทียบปริมาณมีเทนจากการวัดในนาข้าวและจากแบบจำลอง DNDC ฤดูที่1	106
25	เปรียบเทียบปริมาณมีเทนจากการวัดในนาข้าวและจากแบบจำลอง DNDC ฤดูที่2	106
26	Simulation ความเข้มข้นแอมโมเนียมในน้ำที่ท่วมขังและการ leaching จากนาข้าว	114
27	Simulation ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำที่ท่วมขังและการ leaching จากนาข้าว	115
28	ความเข้มข้นไนเตรทในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2	117
29	ความเข้มข้นไนเตรทในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1และ 2	119
30	ความเข้มข้นไนเตรทในคูระบายน้ำฤดูที่ 1และ2	121
31	ความเข้มข้นไนเตรทในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2	123
32	ความเข้มข้นฟอสเฟตในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2	124
33	ความเข้มข้นฟอสเฟตในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1และ 2	126
34	ความเข้มข้นฟอสเฟตในคูระบายน้ำฤดูที่ 1และ 2	127
35	ความเข้มข้นฟอสเฟตในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2	128
36	ความเข้มข้นแอมโมเนียมในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2	129
37	ความเข้มข้นแอมโมเนียมในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	131
38	ความเข้มข้นแอมโมเนียมในคูระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	132
39	ความเข้มข้นแอมโมเนียมในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2	133
40	ค่า pH ในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2	134
41	ค่า pH ในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	135
42	ค่า pH ในคูระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	136

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	ค่า pH ในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2	137
44	ค่า BOD ในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2	138
45	ค่า BOD ในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	140
46	ค่า BOD ในคูระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	141
47	ค่า BOD ในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2	142
48	ค่าอุณหภูมิของน้ำในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2	143
49	ค่าอุณหภูมิของน้ำในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	143
50	ค่าอุณหภูมิของน้ำในคูระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	144
51	ค่าอุณหภูมิของน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2	144
52	ค่า EC ของน้ำในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2	145
53	ค่า EC ของน้ำในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	146
54	ค่า EC ของน้ำในคูระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2	147
55	ค่า EC ของน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2	148
56	เปรียบเทียบพารามิเตอร์ในดินก่อนและหลังการทดลองฤดูที่ 1	155
57	เปรียบเทียบพารามิเตอร์ในดินก่อนและหลังการทดลองฤดูที่ 2	156
ภาพผนวกที่		
1	การแพร่กระจายของมีเทนที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆในแต่ละการจัดการน้ำ ฤดูที่ 1 จากแบบจำลอง DNDC	290
2	การแพร่กระจายของมีเทนที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆในแต่ละการจัดการน้ำ ฤดูที่ 2 จากแบบจำลอง DNDC	291
3	การแพร่กระจายของมีเทนที่ pH ดินต่างๆ ฤดูที่ 1 จากแบบจำลอง DNDC	292
4	การแพร่กระจายของมีเทนที่ pH ดินต่างๆ ฤดูที่ 2 จากแบบจำลอง DNDC	292
5	การแพร่กระจายของมีเทนที่ชนิดดินต่างๆ ฤดูที่ 1 จากแบบจำลอง DNDC	293
6	การแพร่กระจายของมีเทนที่ชนิดดินต่างๆ ฤดูที่ 2 จากแบบจำลอง DNDC	293

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
7	การแพร่กระจายของมีเทนที่สัดส่วนคาร์บอนในดินต่างกันในฤดูที่ 1 จากแบบจำลอง DNDC	294
8	การแพร่กระจายของมีเทนที่สัดส่วนคาร์บอนในดินต่างกันในฤดูที่ 2 จากแบบจำลอง DNDC	294
9	เมนูหลักของแบบจำลอง DNDC	295
10	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Climate ในแบบจำลอง DNDC	296
11	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Soil ในแบบจำลอง DNDC	297
12	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Farming Management ในแบบจำลอง DNDC	298
13	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Crop ในแบบจำลอง DNDC	299
14	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Tillage ในแบบจำลอง DNDC	300
15	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Fertilization ในแบบจำลอง DNDC	301
16	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Weeding ในแบบจำลอง DNDC	302
17	การนำเข้าข้อมูลในเมนู Flooding ในแบบจำลอง DNDC	303

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
$^{\circ}\text{K}$	=	องศาเคลวิน
AWD	=	alternate wetting and drying หรือการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง
CH_4	=	ก๊าซมีเทน
CO_2	=	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
DNDC	=	Denitrification and Decomposition
DOC	=	dissolved organic carbon
dS m^{-1}	=	เดซิซิเมนต์ต่อเมตร
Eh	=	รีดอกซ์โพเทนเชียล
$\text{g m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$	=	กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดู
$\text{J cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	=	จูลต่อเซนติเมตรต่อองศาเซลเซียส
kg C ha^{-1}	=	กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์
kg N ha^{-1}	=	กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์
m d^{-1}	=	เมตรต่อวัน
mg ha^{-1}	=	มิลลิกรัมต่อเฮกแตร์
mg l^{-1}	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
$\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	=	มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน
$\text{mg m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$	=	มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
mol l^{-1}	=	โมลต่อลิตร
mV	=	มิลลิโวลต์
N_2O	=	ก๊าซไนตรัสออกไซด์
NH_4	=	แอมโมเนียม
NO_3	=	ไนเตรท
ppmV	=	ส่วนในล้านส่วนของปริมาตร
SOC	=	soil organic carbon
SWD	=	shallow water depth หรือการให้น้ำแบบน้ำตื้น
$\text{Tg CH}_4 \text{ yr}^{-1}$	=	เทอระกรัมมีเทนต่อปี (ล้านตันมีเทนต่อปี)
TRI	=	traditional irrigation หรือการให้น้ำแบบดั้งเดิม
$\text{W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	=	วัตต์ต่อเซนติเมตรต่อองศาเซลเซียส

การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำ

Water Management in Paddy Field for Reduction of Environmental Impacts on Methane and Water Quality

คำนำ

แนวโน้มของสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นดิน น้ำ และอากาศนับวันจะขาดความสมดุลมากขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการกระทำของมนุษย์และก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย เช่นคุณภาพน้ำต่ำลง ขาดแคลนน้ำในการอุปโภคบริโภค การทะเลาะวิวาทจากการใช้น้ำ คุณภาพดินเสื่อมโทรมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช การชะล้างพังทลายของดิน การแย่งที่ดินทำกิน ตลอดจนการเกิดมลภาวะทางอากาศเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2007) หรือคณะกรรมการร่วมระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก พยากรณ์ว่าศตวรรษหน้าอุณหภูมิของโลกน่าจะสูงขึ้น 1.8-4°C และน้ำทะเลที่เกิดจากการละลายของน้ำแข็งขั้วโลกจะสูงขึ้น 18-59 เซนติเมตร ตามรายงานฉบับที่ 1 ปี พ.ศ. 2007 รวมทั้ง บัณฑิต (2550) อ้างถึงงานวิจัยของ ดร. ลอนนี่ ทอมป์สัน นักธรณีวิทยาพบว่าระดับน้ำทะเลเมื่อสิ้นศตวรรษนี้จะสูงกว่า 140 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้พื้นที่ราว 1 ใน 3 ของรัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกาจมอยู่ใต้ทะเล รวมทั้งนักวิทยาศาสตร์หลายคนเชื่อว่าการประเมินของ IPCC ต่ำกว่าที่ควร เพราะไม่ได้คำนวณอัตราการละลายของน้ำแข็งบนเกาะกรีนแลนด์และแอนตาร์กติกาไว้ด้วย นอกจากนี้ยังมีการเกิดภาวะน้ำท่วมและแห้งแล้งแบบรุนแรงบ่อยครั้งในพื้นที่ทั่วไป เหตุการณ์ต่างๆ เหล่านี้มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะภาวะโลกร้อนที่นับวันจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจในปัจจุบัน รวมทั้งมีการร่วมลงนามของประเทศต่างๆ ในภาคีสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกตั้งแต่ ค.ศ. 1992 เพื่อหาข้อสรุปร่วมกันในการตั้งเป้าหมายเกี่ยวกับการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน โดยมีข้อตกลงให้ลดปริมาณก๊าซให้ได้ภายในปี ค.ศ.2020 ซึ่งให้ลดลงเฉลี่ย 5.2 % จากที่เคยปล่อยในปี ค.ศ.1990 จนกระทั่งในปี 2550 ที่ผ่านมา IPCC (2007) เสนอให้มีการลดผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกเป็นการเร่งด่วนก่อนที่จะเกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวง ประเทศไทยเป็นหนึ่งในภาคีสัญญาดังกล่าวซึ่งสำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ (2544) กล่าวว่าประเทศไทยมีส่วนร่วมในการพิทักษ์โลก โดยได้ลงนามให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ในปี 2537 โดยอยู่ในกลุ่มของประเทศที่กำลังพัฒนาจึงมีพันธกรณีในการเสนอรายงานแห่งชาติ (National Communication) ประกอบด้วยบัญชีรายการแห่งชาติ (National Inventories) ว่าด้วยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีได้ถูกควบคุมโดยพิธีสารมอนทรีออล ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น จึงสมควรที่จะต้องเร่งหาแนวทางในการช่วยลดก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายน้ำแห่งชาติซึ่งได้กล่าวถึงวิสัยทัศน์น้ำคือภายในปีพุทธศักราช 2568 ประเทศไทยจะมีน้ำใช้อย่างเพียงพอและมีคุณภาพ โดยมีระบบการบริหารจัดการองค์กร ระบบกฎหมายในการใช้น้ำอย่างเป็นธรรม ยั่งยืน โดยคำนึงถึงคุณภาพชีวิตและการมีส่วนร่วมในทุกระดับ ดังนั้นการหาแนวทางในการประหยัดน้ำและลดก๊าซเรือนกระจกในขณะเดียวกันย่อมเป็นสิ่งสำคัญ

อนึ่งประเทศไทยในฐานะเป็นผู้ส่งออกข้าวสู่ตลาดโลกรายใหญ่ ซึ่ง Sormpoon (2007) รายงานว่ามีนาข้าวในประเทศไทยประมาณ 76 ล้านไร่ในปี 2549 ขณะที่ บัญชา และคณะ (2543) กล่าวว่าชาวนานิยมปลูกข้าวโดยให้น้ำท่วมขังในนาข้าวตลอดเวลาประมาณ 30 เซนติเมตรเพื่อกำจัดวัชพืช ซึ่งเป็นการใช้น้ำที่ไม่ประหยัด เกิดการสูญเสียน้ำโดยการรั่วซึมมาก รากข้าวถูกทำลายได้ง่ายและไม่แข็งแรง อีกทั้งเปลืองสารเคมีที่จะต้องละลายไปกับน้ำ รวมทั้ง ภาสกร (2542) พบว่าการทำนาข้าวมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ และ Yoshinaga *et al.* (2007) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจากนาข้าวในประเทศญี่ปุ่นที่เกิดจากการระบายน้ำผิวดินมีประมาณ 7.2 kg ha^{-1} และจากการรั่วซึม 11.6 kg ha^{-1} ตลอดจน Nakazone and Kurada (1999) วิเคราะห์พบว่าปัจจัยการใช้ปุ๋ยในนาข้าวที่อยู่เหนือแหล่งน้ำมีความสำคัญที่สุดในการควบคุมปริมาณไนโตรเจนในแหล่งน้ำและการลดปริมาณการระบายน้ำในช่วงการใส่ปุ๋ยจะนำไปสู่การลดการนำสารจากนาข้าวไปสู่แหล่งน้ำใกล้เคียง นอกจากนี้การทำนาข้าวแบบน้ำท่วมขังยังก่อให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นจะเห็นว่าการทำนาข้าวเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งด้านน้ำและภูมิอากาศ

จากปัญหาต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วล้วนส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม การหาแนวทางแก้ไขและปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆในสถานการณ์เช่นนี้ย่อมเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงสมควรที่จะต้องมีการศึกษา วิจัยและหามาตรการในการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่างๆเกี่ยวกับสถานะแวดล้อมที่เกิดขึ้นอย่างยั่งยืน การวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์การจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวโดยประยุกต์การจัดการน้ำจากรูปแบบที่ Zhi (2001) เสนอคือเทคนิคการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง (the alternate wetting and drying

irrigation technique, AWD) และการจัดการน้ำแบบระดับน้ำตื้น (the shallow water depth, SWD) ในประเทศจีนตลอดจนการจัดการน้ำแบบดั้งเดิมของเกษตรกร เพื่อหาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยนำแบบจำลอง DNDC (the denitrification and decomposition model) ซึ่ง Li *et al.* (1992); Li (2003) ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพอากาศและการแพร่กระจายของสารละลายที่มีธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ นำมาวิเคราะห์หาปริมาณมีเทนในนาข้าว ตลอดจนแบบจำลองอื่นๆที่เกี่ยวข้องในการช่วยวิเคราะห์ เพื่อนำผลไปสู่การจัดการน้ำในนาข้าวให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสม ส่งผลให้สามารถอนุรักษ์น้ำได้อย่างยั่งยืนและลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั้งในด้านคุณภาพน้ำดินและภูมิอากาศให้มีสถานะที่ดีขึ้นในขณะเดียวกันซึ่งเหมาะสมกับสภาพปัญหาปัจจุบันของประเทศไทย ตลอดจนยังเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสนับสนุนให้เกิดการแก้ปัญหาในอนาคต เป็นประโยชน์ในภาพรวมและเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนให้ดีขึ้นอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. วิจัยทดลองหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพน้ำ และภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องในพื้นที่นาข้าวที่มีการควบคุมการให้น้ำชลประทานแบบเปียกสลับแห้ง (the alternate wetting and drying irrigation) และการจัดการน้ำแบบน้ำตื้น (the shallow water depth) โดยมีการจัดการเกี่ยวกับปุ๋ยและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน ตลอดจนเปรียบเทียบกับพื้นที่นาข้าวที่มีการทำนาแบบดั้งเดิม (traditional irrigation) ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง
2. วิเคราะห์หาผลกระทบสัมพัทธ์ของพารามิเตอร์บางประการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำข้อมูลจากการทดลองไปวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองDNDC หรือแบบจำลองอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการลดผลกระทบในด้านต่างๆ

การตรวจเอกสาร

การจัดการน้ำในนาข้าว

1. รูปแบบทั่วไปของการจัดการน้ำ

การทำนาแบบดั้งเดิมที่มีน้ำท่วมขังในแถบเอเชีย มีการใช้น้ำประมาณ 700 – 1500 มิลลิเมตร สำหรับการเพาะปลูกหนึ่งฤดูกาล ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดิน (Bhuiyan, 1992) และมีการใช้น้ำเพื่อการเตรียมแปลง 150- 250 มิลลิเมตร ใช้น้ำสำหรับการตกกล้า 50 มิลลิเมตร ตลอดจนการคายระเหย การรั่วซึมต่างๆ ระหว่างช่วงการเจริญเติบโตของพืชอีก 500 -1200 มิลลิเมตร (5-12 มิลลิเมตร ต่อวันสำหรับ 100 วัน) (Guerra *et al.*, 1998) ดังนั้นการใช้น้ำจริงของเกษตรกรในช่วงต่างๆ สูงกว่าความต้องการจริงของข้าวในแปลงนา ทั้งนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการเก็บกักน้ำในนาข้าวเพื่อเป็นหลักประกันของความไม่น่าเชื่อถือในการส่งน้ำของโครงการและการป้องกันวัชพืช ซึ่งการใช้น้ำแบบนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำ ประมาณ 50-80% ของปริมาณน้ำที่ใส่ในแปลงนา (Sharma, 1989) และจากการสำรวจของ Matthews *et al.* (1991) พบว่าจากพื้นที่ทำนาทั้งหมดทั่วโลกมีการทำนาแบบ 3 ครั้งต่อปีจำนวน 60% แบบ 2 ครั้งและหนึ่งครั้งต่อปีจำนวน 15 และ 25 % ตามลำดับและมีแนวโน้มการทำนามากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจึงมีจำนวนมาก และการที่น้ำท่วมขังในแปลงนาเกือบตลอดเวลายังทำให้รากข้าวถูกทำลายได้ง่ายและไม่แข็งแรง ตลอดจนเปลือกสารเคมีที่จะต้องละลายไปกับน้ำ

อนึ่งจากรายงานของ Abdullah (2005) พบว่าปัจจุบันประมาณ 8% ของประชาชนในโลกที่อาศัยในประเทศที่ขาดแคลนน้ำมาก และ 25% ขาดแคลนน้ำปานกลางถึงมาก ซึ่งแนวโน้มที่สองในสามของประชากรโลกจะเผชิญการขาดแคลนน้ำสูงในปี 2593 และปัญหาการแย่งน้ำก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยในทศวรรษหน้า จากปัญหาดังกล่าวได้มีการศึกษาวิธีการจัดการน้ำแบบต่างๆ ได้แก่ Wu (1998) เริ่มทดลองการใช้น้ำแบบ Shallowness, wetness and drying ในปี 2535 – 2536 กับนาข้าวในประเทศจีน โดยให้น้ำท่วมขังในช่วงการเจริญของพืชที่ระดับต่างกัน ได้แก่ช่วงเพาะกล้ามีระดับน้ำ 15-40 มิลลิเมตร ต่อมาก่อนแตกกอมีน้ำอ้อมตัวและปล่อยให้แห้งจนถึงระยะแตกกอ หลังจากนั้นปล่อยให้แห้งต่ออีก 5-10 วัน จึงให้น้ำท่วมขัง 10-20 มิลลิเมตร จนถึงช่วงสุกแก่ให้ดินอ้อมตัวคือไม่มีน้ำท่วมขังพบว่าสามารถประหยัดน้ำได้ 21.1% และมีผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 11.4 % ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ดินมีอากาศและอุณหภูมิที่เหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับการทำนาแบบดั้งเดิม

ขณะที่ Barker *et al.* (2004) รายงานว่าปี 2542 ประเทศจีนได้เริ่มโครงการวิจัยศักยภาพของเทคนิคการประหยัดน้ำชลประทาน (water-saving irrigation techniques, WSI) ในนาข้าว จนบัดนี้ได้มีความร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ มหาวิทยาลัยอูฮานร่วมกับสถาบันการพัฒนากลประทานและระบายน้ำแห่งชาติจีน สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ประเทศฟิลิปปินส์ สถาบันการจัดการน้ำนานาชาติ (IWMI) ประเทศศรีลังกา และ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) ในประเทศออสเตรเลีย เป้าหมายของโครงการเพื่อพัฒนาเทคนิคการจัดการชลประทานในระบบการปลูกข้าวให้มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ มีผลผลิตได้ราคา และสามารถเผยแพร่ใช้ในพื้นที่ประเทศจีนและประเทศอื่นๆ โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะในการศึกษา ได้แก่ ผลกระทบของ WSI ต่อปริมาณการใช้น้ำ ผลผลิตพืช ผลผลิตน้ำตลอดจนประสิทธิภาพการใช้น้ำ การประมาณค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลประโยชน์ของเทคโนโลยีต่อชาวนา พัฒนาและทดสอบวิธีการ WSI เพื่อที่จะศึกษาระบบชลประทานในพื้นที่กว้างและซับซ้อนเพื่อให้เข้าใจระดับที่จะประหยัดน้ำในระบบกว้างและเพิ่มผลผลิตน้ำ รวมทั้งเพื่อเผยแพร่และเร่งให้มีการนำวิธีการ WSI มาใช้จัดการน้ำในการปลูกข้าวในประเทศจีนและประเทศอื่นๆ

ส่วน Tuong and Bouman (2003) ได้ศึกษารวมถึงศักยภาพของการเพิ่มผลผลิตน้ำในภาวะแวดล้อมที่น้ำขาดแคลน โดยเน้นไปที่การเพิ่มขึ้นของผลผลิตต่อหน่วยน้ำ การลดปริมาณ การรั่วซึมต่างๆ และการระเหย รวมทั้งการนำน้ำฝนไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามยังมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการทดลองเพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์จากฝนและการควบคุมอุณหภูมิตลอดการให้น้ำและระบายน้ำ มีการแนะนำเทคนิคการให้น้ำโดยให้มีการให้น้ำขังน้อยๆและให้บ่อยๆ (shallow with frequent irrigation) และการให้น้ำขังน้อยๆและมีที่เก็บกักมาก (shallow irrigation and deep storage) (Liu, 1998) งานที่น่าสนใจอีกชิ้นหนึ่งของ Zhi (2001) ซึ่งสรุปผลจากการทดลองและประสบการณ์พบว่าการจัดการชลประทานแบบประหยัดน้ำในนาข้าวซึ่งทำให้ผลผลิตไม่ลดลงและสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำได้อย่างยั่งยืนที่นิยมใช้กันมี 3 แบบ ได้แก่

1.1 Alternate Wetting and Drying (AWD) หรือเป็นเทคนิคการให้น้ำชลประทานแบบเปียกสลับแห้ง โดยเป็นการให้น้ำท่วมขังในนาข้าวตามระดับที่กำหนดแล้วปล่อยให้แห้งจนดินมีความชื้นไม่ต่ำกว่าที่กำหนด แล้วจึงทำการให้น้ำใหม่จนถึงระดับที่ต้องการที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ระดับขอบเขตความชื้นต่ำสุดของ AWD คือไม่มีน้ำท่วมขังระหว่างช่วงต้น tillering จนถึงช่วงปลาย milk ripening stage ซึ่งแบ่ง AWD เป็น 2 วิธีย่อยคือ

ก. LAWD (the long term alternate wetting and drying irrigation technique) ซึ่งมีรอบเวรการให้น้ำ 6 - 8 วัน โดยมีการให้น้ำท่วมขังในนาข้าวเป็นระยะๆ ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้งประมาณ 50 - 60 มิลลิเมตร และระดับน้ำหลังการให้น้ำในนาประมาณ 30 - 40 มิลลิเมตร ต่อมาปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติจนเหลือความชื้นในดินประมาณ 70 - 80 % ของความชื้นในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (SMC) โดยให้นามีน้ำขัง 4 - 5 วัน และไม่มีน้ำขัง 2 - 3 วัน

ข. SAWD (the short term alternate wetting and drying irrigation technique) ซึ่งมีรอบเวรการให้น้ำสั้นกว่าคือ 4 - 5 วัน โดยมีการให้น้ำท่วมขังในแปลงนาเป็นระยะๆ ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้งประมาณ 30 - 40 มิลลิเมตร และระดับน้ำหลังการให้น้ำในแปลงนาประมาณ 20 - 30 มิลลิเมตร ต่อมาปล่อยให้แห้งจนเหลือความชื้นในดินประมาณ 80 - 90 % ของ SMC (soil moisture content) โดยให้นามีน้ำท่วมขัง 3-4 วัน และไม่มีน้ำขัง 1 วัน (Zhi, 2001)

นอกจากนี้พบว่า การให้น้ำแบบ AWD สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวจากน้ำส่วนเกินที่ประหยัดได้ จากการศึกษาศึกษาแสดงให้เห็นว่าการให้น้ำแบบ AWD นอกจากไม่ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงแล้วยังเพิ่มผลผลิตน้ำ สามารถลดการใช้ปุ๋ยและลดการระคายคายน้ำ จนกระทั่งในปัจจุบันมีการประชาสัมพันธ์เทคนิค AWD และมีการนำไปใช้แพร่หลายประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ในประเทศจีน (Li and Barker, 2004) และเป็นเทคนิคการประหยัดน้ำที่กำลังเผยแพร่ในหลายประเทศในแถบเอเชีย (Zeigler, 2005) จากผลการทดลองการประยุกต์ใช้เทคนิคการให้น้ำแบบ AWD ได้มีการเสนอรูปแบบการควบคุมน้ำในประเทศจีนดังรายละเอียดในภาพที่ 1

1.2 Combining Shallow Water Depth with Wetting and Drying (SWD) เป็นเทคนิคการจัดการน้ำโดยเป็นการใช้ประโยชน์จากการนำการจัดการน้ำแบบระดับน้ำตื้น และแบบสภาวะเปียกสลับแห้งมาใช้ร่วมกันตลอดฤดูการเพาะปลูก (Zhi and Zhifang, 1998) ซึ่งรูปแบบของการควบคุมน้ำดังรายละเอียดในภาพที่ 1

1.3 Semi-Dry Cultivate (SDC) เป็นเทคนิคการจัดการน้ำที่มีรูปแบบค่อนข้างจะแตกต่างจากเทคนิคการให้น้ำแบบ SWD และ AWD โดยที่ให้น้ำขังเหนือผิวดินในนาข้าวเฉพาะช่วง revival of green ไปถึง middle stage of tillering เท่านั้นและจะไม่ให้น้ำท่วมขังในแปลงนาที่ระยะ

อื่นๆตลอดการเพาะปลูก เทคนิคแบบ SDC ได้มีการประยุกต์ใช้ในภาคตะวันออกและใต้ของ ประเทศจีน (Peng *et al.*, 1997) และรูปแบบของการควบคุมน้ำดังรายละเอียดในภาพที่ 1

ในส่วนของผลกระทบของเทคนิคการจัดการน้ำแบบ WSI ต่อปริมาณน้ำที่ใช้ ผลผลิตข้าวและผลผลิตน้ำ ได้มีการทดลองเปรียบเทียบเทคนิคการให้น้ำแบบต่างๆ คือ การให้น้ำ แบบดั้งเดิม (traditional irrigation regime, TRI) กับเทคนิคการให้น้ำแบบ SWD, AWD และ SDC ใน 15 จังหวัดของประเทศจีน พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ลดลง 3% - 18%, 7% - 25% และ 20% - 25% ตามลำดับ (Zhi, 1997) ซึ่งค่าต่างๆเป็นข้อมูลระหว่างปี 2540-2541 ในเมืองกุ้ยหลิน แคว้นอิสระกั่ง ชี รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 (Zhi and Cui, 2001) และข้อมูลจากเมืองหางโจว จังหวัดซีเกียง ในปี 2540 แสดงในตารางที่ 2 (Wei *et al.*, 1999) นอกจากนี้ Kreye *et al.* (2007) รายงานว่าจากการ ศึกษาอิทธิพลของการจัดการน้ำในนาข้าวต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกพบว่าเทคนิคการประหยัด สามารถประหยัดน้ำได้ 70% และ 50% ในปี 2544 และ 2545 ตามลำดับเมื่อเทียบกับการทำนาแบบ ดั้งเดิม

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำสุทธิที่ให้ในแปลงนาภายใต้รูปแบบของการให้น้ำต่างๆใน พื้นที่แคว้นอิสระกั่งชี ประเทศจีน

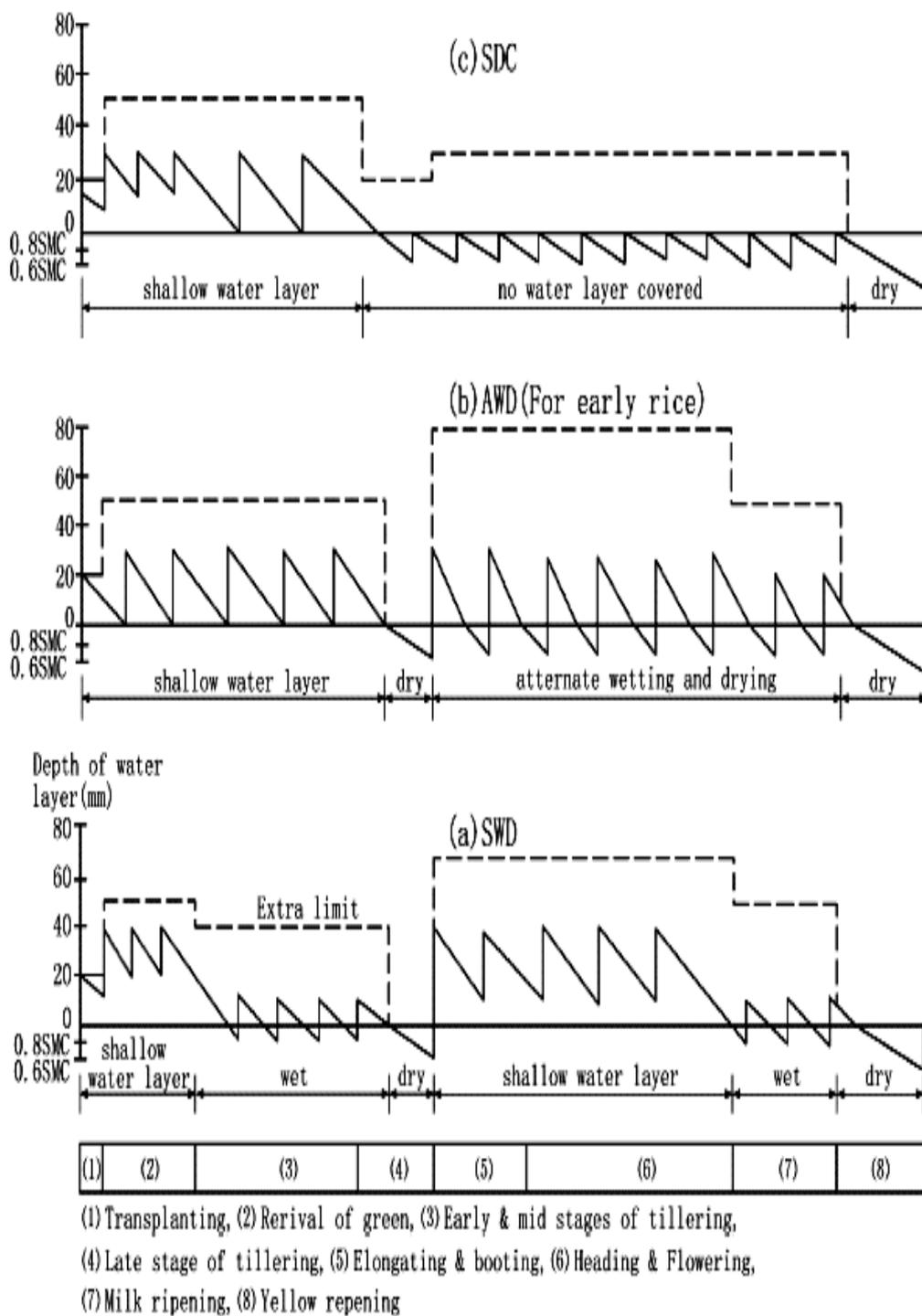
ปี	ปริมาณน้ำที่ให้	พันธุ์ข้าวเบา			พันธุ์ข้าวหนัก		
		TRI	SWD	AWD	TRI	SWD	AWD
1997	m ³ / ha	2390	2190	1785	8100	7890	7385
	%	100	91.6	74.7	100	97.4	91.2
1998	m ³ / ha	2750	2439	2415	6743	5867	6341
	%	100	88.7	87.8	100	87	94
เฉลี่ย	m ³ / ha	2570	2312	2100	7422	6879	6863
	%	100	90	81.7	100	92.7	92.5

ที่มา: Zhi and Cui (2001)

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำสุทธิที่ให้ในแปลงภายใต้รูปแบบของการให้น้ำต่างๆ ในพื้นที่จังหวัด
ฉะเชิงเทรา

ปี	ปริมาณน้ำที่ให้	พันธุ์ข้าวเบา			พันธุ์ข้าวหนัก		
		TRI	SWD	SDC	TRI	SWD	SDC
1998	m ³ / ha	2607	2205	1645	3765	3195	2499
	%	100	84.6	63.1	100	84.8	66.4

ที่มา: Wei *et al.* (1999)



ภาพที่ 1 รายละเอียดการควบคุมระดับน้ำแบบ SWD, AWD และ SDC ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

ที่มา: Zhi (2001)

2. ผลของการจัดการน้ำต่อผลผลิตข้าว

สำหรับผลกระทบต่อผลผลิตข้าวจากการจัดการน้ำแบบต่างๆ เพียงใจ (2529) พบว่าในนาที่มีน้ำท่วมขังต่างกันมีผลต่อผลผลิตข้าวโดยนาที่น้ำขังลึก 20 เซนติเมตรจะมีผลผลิตต่ำกว่าที่ขังในระดับ 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตร ทั้งนี้ กัลยา (2542) กล่าวว่าผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น ส่วน Feng *et al.* (1996) สรุปว่าผลผลิตข้าวสูงได้โดยไม่ต้องให้น้ำท่วมในนาตลอดเวลา และความชื้นที่ต้องการในเขตรากเพียง 70% - 80% ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เท่านั้น ส่วนการทดลองของ Minamikawa and Sakai (2005) พบว่าผลผลิตข้าวจากการทำนาโดยวิธีระบายน้ำกลางฤดูควบคู่กับการให้น้ำเป็นช่วงๆ (Intermittent irrigation) ให้ผลผลิตมากกว่าการจัดการน้ำแบบระบายน้ำกลางฤดู (Midseason drainage) อย่างเดียว และการให้น้ำท่วมขังตลอดเวลา (continuous flooding) ตามลำดับ สำหรับการจัดการน้ำแบบควบคุมค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential, Eh) หรือ (Eh control) เพื่อลดปริมาณมีเทนพบว่าให้ผลผลิตน้อยที่สุดดังตารางที่ 3 โดยการจัดการน้ำทั่วไปที่มีการระบายน้ำบ่อยจะให้ผลผลิตสูงกว่าเพราะการระบายน้ำช่วยให้อากาศในดินได้ดีขึ้นในขณะที่การจัดการน้ำแบบควบคุม Eh ให้ผลผลิตน้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะมีการระบายน้ำจนดินแห้งเกินไปทำให้มีผลต่อทั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและการเคลื่อนที่ของสารละลายต่างๆ ในช่วงสำคัญของพืช แต่อย่างไรก็ตามพบว่าสำหรับชีวมวลเหนือดินของข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

รวมทั้งผลการทดลองของ Li (1999) พบว่าผลผลิตข้าวและประสิทธิภาพการใช้น้ำ ซึ่งได้แก่ผลผลิตข้าวต่อปริมาณน้ำที่ข้าวใช้ (yield per unit of water consumption, WP1) รวมทั้งผลผลิตข้าวต่อปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้ข้าว (yield per irrigation water use, WP2) ที่เทคนิคการจัดการน้ำต่างๆ กันของ WSI หรือเทคนิคการประหยัดน้ำให้ผลต่างกันแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลผลิตข้าวสามารถเพิ่มขึ้นจากแบบดั้งเดิมคือแบบ TRI น้อยกว่า 9 % แต่ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญแปรตามค่าปริมาณน้ำที่ประหยัดได้จากวิธี WSI โดยที่ประสิทธิภาพการใช้น้ำ WP1, WP2 ให้ค่าเพิ่มขึ้น 11% - 56% และ 11% - 69% ตามลำดับ ในขณะที่ Shijing (1996) รายงานว่าจากการทดลองในหลายเมืองพบว่าให้ค่า WP1 และ WP2 เพิ่มขึ้น 20% - 30% และ 30%-50% สำหรับเทคนิคการให้น้ำแบบประหยัดดังกล่าว

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยอีกมากมายที่ชี้ให้เห็นว่าเทคนิคการให้น้ำแบบประหยัดสามารถประหยัดน้ำใช้ในแปลงนาได้มากกว่าการทำนาแบบท่วมขังดั้งเดิม โดยที่ผลผลิตของข้าวไม่ได้

เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ซึ่งผลการวิจัยได้กล่าวว่าผลผลิตข้าวสามารถสูงได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำท่วมในแปลงนาตลอดเวลา และความชื้นที่ต้องการในเขตรากข้าวประมาณ 70- 80 % ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้เท่านั้น (Fang *et al.*, 1996; Lu *et al.*, 2000)

ตารางที่ 3 ผลผลิตข้าวจากการจัดการน้ำแบบต่างๆ ในดิน 2 ชนิด

Rice yield and harvest index of all treatments				
Treatment		Aboveground biomass (gDW pot ⁻¹) ^a	Brown rice yield(gDW pot ⁻¹) ^a	Harvest index
Soil	Water management			
Andosol	Continuous	59.9	12.6	0.21
	flooding	57.8	11.9	0.20
	Midseason drainage	59.2	18.1	0.30
	Intermittent irrigation ^b	58.9	9.9	0.17
	Eh control			
Gley soil	Continuous	67.1	13.3	0.20
	flooding	66.3	20.3	0.31
	Midseason drainage	66.9	22.2	0.33
	Intermittent irrigation ^b	60.9	11.2	0.18
	Eh control			

^a The values are represented by dry weight (DW).

^b Midseason drainage plus intermittent irrigation.

ที่มา: Minamikawa and Sakai (2005)

ตารางที่ 4 ผลผลิตข้าวภายใต้รูปแบบการให้น้ำแบบเทคนิคประหยัดน้ำ (WSI) ในประเทศจีน

สถานที่	ปี	ชนิดพันธุ์ข้าว	ผลผลิต (kg ha ⁻¹)			
			TRI	SWD	AWD	SDC
ฮูไบ	1997	ปานกลาง	9969		9455	
	1998	ปานกลาง	7767		8790	
		เฉลี่ย	8868		9123	
		% ของค่าเฉลี่ย	100		102.9	
กึ่งซี	1997	เบา	6050	6147	6251	
	1997	หนัก	4335	4424	4380	
	1998	เบา	5766	5772	5919	
	1998	หนัก	7484	7970	7995	
	1999	เบา	5504	6269	6416	
	1999	หนัก	7484	7970	7995	
		เฉลี่ย	6104	6425	6493	
		% ของค่าเฉลี่ย	100	105.3	106.4	
ซีเกียง	1998	เบา	6075	6306		6746
	1998	หนัก	6363	6326		6746
		เฉลี่ย	6219	6316		6746
		% ของค่าเฉลี่ย	100	101.6		108.5

ที่มา: Li (1999)

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการใช้น้ำภายใต้รูปแบบของการให้น้ำแบบเทคนิคประหยัดน้ำ (WSI)
ในประเทศจีน

จังหวัด	ปี	ชนิด พันธุ์ข้าว	WP ₁ ¹ (กก./ลบ.ม.น้ำ)				WP ₂ ² (กก./ลบ.ม.น้ำ)			
			TRI	SWD	AWD	SDC	TRI	SWD	AWD	SDC
สฺว่ไบ	1997	ปานกลาง	1.02		1.017		1.02		1.017	
	1998	ปานกลาง	0.86		1.122		0.86		1.122	
		เฉลี่ย	0.94		1.07		0.94		1.07	
		% ค่าเฉลี่ย	100		114		100		114	
ก้งซี	1997	เบา	0.85	1.05	1.2		0.85	1.05	1.2	
	1997	หนัก	0.4	0.45	0.52		0.4	0.45	0.52	
	1998	เบา	0.87	0.88	1.18		0.87	0.88	1.18	
	1998	หนัก	0.51	0.61	0.57		0.51	0.61	0.57	
	1999	เบา	0.8	0.85	1		0.8	0.85	1	
	1999	หนัก	0.44	0.5	0.68		0.44	0.5	0.68	
		เฉลี่ย	0.65	0.72	0.86		0.65	0.72	0.86	
	% ค่าเฉลี่ย	100	111	132		100	111	132		
ซีเกียง	1998	เบา	1.17	1.37		1.775	1.17	1.371	1.775	
	1998	หนัก	0.99	1.17		1.599	0.99	1.169	1.599	
		เฉลี่ย	1.08	1.27		1.687	1.08	1.27	1.687	
		% ค่าเฉลี่ย	100	118		156.1	100	117.5	156.1	

หมายเหตุ ¹ WP₁ = ผลผลิตข้าวต่อปริมาณน้ำที่พืชใช้

² WP₂ = ผลผลิตข้าวต่อปริมาณน้ำที่ส่งให้พืช

ที่มา: Li (1999)

การจัดการน้ำชลประทานและคุณภาพภูมิอากาศ

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการปลูกข้าวที่มีสภาพน้ำขังพบว่าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกหลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), มีเทน (CH₄) และไนตรัสออกไซด์ (NO₂) เป็นต้น แต่ในที่นี้ได้พิจารณาเฉพาะก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีบทบาทสำคัญในบรรยากาศและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Ishizuka *et al.*, 2002) ทั้งนี้จากรายงานของ Tsuruta *et al.* (1998) กล่าวว่าเมื่อพิจารณาศักยภาพในการทำให้โลกร้อนจากก๊าซเรือนกระจกสำคัญทั้งสามในนาข้าว พบว่ามีเทนก่อให้เกิดศักยภาพโลกร้อน 78% ของการแพร่กระจายของก๊าซทั้งหมดในนาข้าว ดังนั้นการหาแนวทางในการลดมีเทนจากนาข้าวควรมีการปฏิบัติอย่างแพร่หลายเพื่อเป็นการลดภาวะโลกร้อน

1. ผลของก๊าซมีเทนต่อภาวะโลกร้อน

Shangping *et al.* (2007) รายงานว่านาข้าวปล่อยมีเทนประมาณ 15-20% ของแหล่งผลิตมีเทนที่มาจากแหล่งแอนโทรโปจีนิก (Anthropogenic) ทั้งหมดในบรรยากาศโลก ขณะที่ Minamikawa *et al.* (2006) ประมาณว่ามีเทนที่ปล่อยออกมาทั่วโลกมีค่าประมาณ 600 Tg CH₄ yr⁻¹ และ Albritton and Filho (2001) กล่าวว่าปริมาณก๊าซมีเทนในบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 7 ppbv ต่อปีในทศวรรษปัจจุบัน หนึ่งจากรายงานของ Bachelet *et al.* (1993) พบว่ามีเทนที่เกิดจากนาข้าวทั้งหมดทั่วโลกมาจากนาในเอเชียประมาณ 90% ซึ่งเป็นนาข้าวในประเทศจีนและอินเดียมากถึง 52% และเฉพาะมีเทนที่เกิดจากนาข้าวชลประทาน Wassmann *et al.* (2000) พบว่าสูงถึง 70-80% ของนาข้าวทั้งหมด ส่วน อรรรณ (2541) ได้ประเมินก๊าซมีเทนที่ปล่อยจากนาข้าวในประเทศไทยพบว่ามีประมาณ 1.81- 4.03 ล้านตันต่อปี ขณะที่มีการทดลองหาปริมาณมีเทนจากหลายสถานที่โดย Cao (1998) รายงานว่าปริมาณมีเทนที่เกิดจากนาข้าวมีประมาณ 53 Tg CH₄ yr⁻¹ และ Neue and Sass (1998) เสนอว่ามีเทนมีค่าประมาณ 33-49 Tg CH₄ yr⁻¹ รวมทั้ง Dubey (2001) รายงานจากการประมาณค่าของ USEPA พบว่าในอินเดียมีการแพร่กระจายของมีเทนจากนาข้าวเฉลี่ย 37.8 Tg CH₄ yr⁻¹ อย่างไรก็ตามได้มีการรณรงค์เสนอให้มีลดการเกิดมีเทนในอินเดียให้อยู่ในช่วง -0.2 -3.6 mg m⁻² hr⁻¹ สำหรับนาชลประทานที่มีการจัดการน้ำแบบเป็นช่วง และมีค่า 0.04-66 mg m⁻² hr⁻¹ สำหรับนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา หนึ่ง Blasing and smith (2006) รายงานว่า Atmospheric lifetime (years) ของก๊าซมีเทนโดยตรงมีมากกว่า 12 ปีและก่อให้เกิดปฏิกิริยาถูกใช้กับก๊าซอื่นๆ อีกเป็นเวลานาน เข้าไปทำลายชั้นบรรยากาศ รวมทั้งก่อให้เกิดรูรั่วในชั้นโอโซนทำให้มีรังสีต่างๆ เข้ามาสู่

ผิวโลกมากขึ้น นอกจากนี้ยังสร้างม่านที่คล้ายเรือนกระจกกันมิให้รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวโลกสะท้อนออกไปสู่บรรยากาศได้ ทั้งนี้ IPCC (2001) รายงานว่าค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนขึ้น (Global Warming Potentials, GWPs) ของก๊าซมีเทนมีค่ามากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 23 เท่า และ Mosier (1998) ประมาณว่ามีเทนมีส่วนร่วมในการทำให้โลกร้อนขึ้นประมาณ 25 % ในขณะที่ Tsuruta *et al.* (1998) ได้ประเมินการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญทั้ง 3 ชนิด คือมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์ในนาข้าวประเทศญี่ปุ่นต่อศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนใน 100 ปีที่ผ่านมาพบว่าการแพร่กระจายของทั้งสามก๊าซทำให้เกิดโลกร้อน 78.2, 16 และ 5.8% ของ total CO₂ equivalent emission ในนาข้าวตามลำดับ รวมทั้ง Naser *et al.* (2005) รายงานว่ามีเทนประมาณ 95% ของการแพร่กระจายของก๊าซเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับสมการหาค่า GWPs ซึ่งเสนอโดย (IPCC, 1996) มีดังนี้คือ

$$GWPs_i = CO_{2i} + N_2O_i \times 310 + CH_{4i} \times 21 \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ } CO_{2i} = C_i \times (44/12)$$

$$N_2O_i = N_i \times (44/28)$$

$$CH_{4i} = C_i \times (16/12)$$

โดยที่ GWPs_i คือศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนที่ทางเลือก i คิดเป็นกิโลกรัมเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ต่อปี (kg CO₂ equivalent ha⁻¹ yr⁻¹) ส่วน C_i และ N_i คือปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนที่แพร่กระจายที่ทางเลือก i มีหน่วยเป็นกิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อปี และกิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ต่อปีตามลำดับ

2. กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว

รายงานของ Dubey (2001) สรุปว่าการปลูกข้าวมีอิทธิพลต่อการเกิดก๊าซมีเทน ทั้งนี้เพราะมีการผลิตสารประกอบที่ซึมผ่านรากข้าวให้จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ รวมทั้งนาข้าวในสภาพแอนแอโรบิกหรือสภาพขาดออกซิเจนเป็นแหล่งที่อยู่ของจุลินทรีย์พวกมีธาโนเจนที่สร้างมีเทน (methanogenic bacteria) จึงส่งเสริมให้มีการผลิตมีเทนมากขึ้นและขณะเดียวกันก็มีการลำเลียงก๊าซจากดินสู่บรรยากาศผ่านต้นข้าวด้วย ส่วนรายงานของ Mitra and Singh (2002) กล่าวว่าแหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของมีเทนในนาข้าวคือหน้าดินที่อยู่ต่ำกว่าชั้นที่มีออกซิเจน ทั้งนี้เพราะ

ภายใต้เงื่อนไขที่ในดินมีออกซิเจนจะมีคาร์บอนไดออกไซด์โพเทนเชียลสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยจุลินทรีย์พวกเมทาโนโทรปส่งผลให้สามารถป้องกันการผลิตมีเทน (Aulakh *et al.*, 2000) รวมทั้ง Taoprayoon (2007) สรุปว่ามีเทนในนาข้าวเกิดจากกระบวนการทางจุลชีววิทยาและชีวเคมีโดยมีกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจนซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่เช่นไขมัน แป้งและโปรตีนที่อยู่ในรูปสารละลายให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด และขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน แสดงรายละเอียดในภาพที่ 2 นอกจากนี้ Schutz *et al.* (1989) อธิบายว่ากระบวนการเกิดมีเทนเกิดขึ้นหลังจากในดินที่มีน้ำขังมีการใช้ออกซิเจนหมดไปอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นก็มีปฏิกิริยารีดักชันของสารประกอบต่างๆ เกิดขึ้นตามลำดับของการรับอิเล็กตรอนของสารประกอบในดินนั้นๆ โดยเป็นไปตามทฤษฎีของ dynamic theory ดังนี้คือ NO_3 , NH_4 , Fe_3 , SO_4 และ CO_2 โดยมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยารีดักชันในดินซึ่งเกิดโดยมีจุลินทรีย์พวกมีธาโนเจนเป็นตัวร่วม สำหรับสารตั้งต้นโดยตรงของกระบวนการคือ $\text{H}_2 + \text{CO}_2$, ฟอर्मท, อะซิเตทและเมทิลแอสลอสอลส์ร่วมกับมีทิลลามท โดยมีปฏิกิริยาหลักสองทางดังนี้คือ

2.1 ปฏิกิริยารีดักชันของคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ H_2

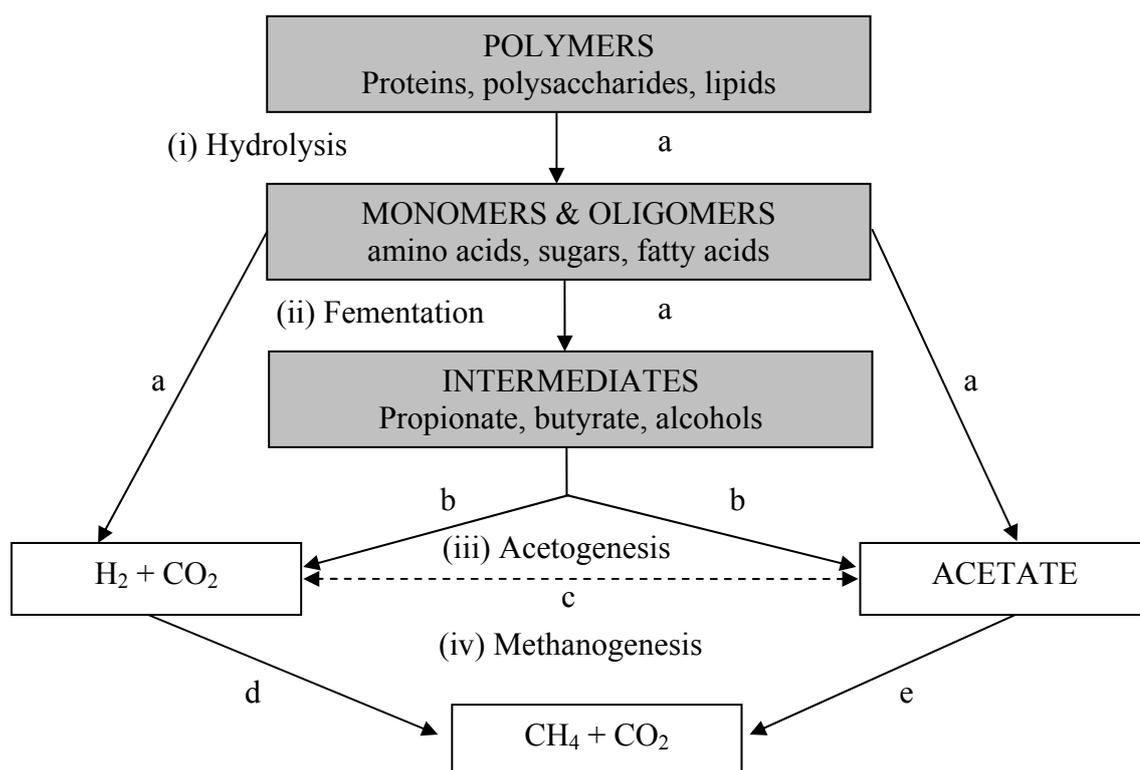


2.2 ปฏิกิริยา transmethylation of acetate หรือการดึงเอา methyl group ออกจากกรดอะซิติกหรือเมทิลแอสลอสอลส์ในดินโดยเป็นผลที่ได้จาก fermentation ดังสมการคือ



อนึ่ง ทศนิษฐ์ (2543) อธิบายว่าในสภาพที่ดินไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์ใช้อินทรีย์วัตถุเป็นตัวรับอิเล็กตรอนปฏิกิริยานี้เรียกว่าการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ (Fermentation) ในขณะที่เมื่อมีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการให้และการรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยผู้ให้อิเล็กตรอนจะถูกออกซิไดส์โดยการสูญเสียอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในกรณีที่ผู้รับจะถูกรีดิวซ์โดยได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเรียกว่าปฏิกิริยารีดักชัน ปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันในระบบดังนั้นจึงเรียกอีกอย่างว่าระบบรีดอกซ์

สำหรับนาข้าวเมื่อดินมีน้ำขังออกซิเจนจากอากาศจะเข้าไปในดินโดยการแพร่กระจายผ่านชั้นของน้ำที่ขังอยู่เหนือดินในอัตราที่ช้ามาก (1/10000 เท่าของในบรรยากาศ) ทำให้พบว่าหลังจากดินมีน้ำท่วมขัง 1 วันออกซิเจนจะหมดไป ดังนั้นดินจะอยู่ในสภาพไม่มีออกซิเจน ออกซิเจนที่มีอยู่เดิมจะถูกจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ในการหายใจเกิดสภาพไร้ออกซิเจน ในสภาพนี้จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นเรียงตามลำดับ โดยระบบที่มี Eh สูงจะเกิดรีดักชันก่อน อย่างไรก็ตามพบว่าการเชื่อมล้ากันในระบบคือปฏิกิริยาหนึ่งไม่จำเป็นต้องหมดก่อนที่อีกปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นแต่กระนั้นพบว่าการสะสมมีเทนมีมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อรีดักชันของซัลเฟตเสร็จสิ้นแล้ว จากตารางจะเห็นว่าหลังจากปฏิกิริยารีดักชันของแมงกานีสแล้วจะมีปฏิกิริยา fermentation หลายอันเกิดขึ้นทำให้เกิดสารอินทรีย์มากมาย เช่น กรดอินทรีย์ ก็ โชน แอลกอฮอล์ เป็นต้น รวมทั้งกรดบูทริกและไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นพิษต่อต้นข้าว กรดอินทรีย์เหล่านี้จะสลายตัวต่อไปโดยเมื่อคาร์บอกซ์โพเทนเชียล (Eh) ในดินถูกรีดิวซ์ลดลงไปอยู่ที่ค่าประมาณ -200-280 mV ก็จะมีการสลายตัวของสารอินทรีย์เป็นมีเทน



ภาพที่ 2 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน

ที่มา: Taoprayoon (2007)

กล่าวโดยสรุปการเกิดมีเทนในนาข้าวเกิดจากปัจจัยที่ดินมีน้ำขังเป็นสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดสภาวะแอนแอโรบิก สำหรับส่วนประกอบต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทนนอกจากการจัดการน้ำแล้วได้แก่สารประกอบจากการเน่าเปื่อยของอินทรีย์วัตถุคือคาร์บอน ชนิดดิน pH ดิน อุณหภูมิ ริดักชันก่อนการเกิดมีเทน ริดอกโพเทนเชียลและOxidant ในดิน ค่าEhวิกฤติที่เกิดมีเทน การใส่ปุ๋ย ตลอดจนตัวช่วยยั้งการเกิดมีเทนเป็นต้นดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

3. ปัจจัยจากการจัดการน้ำต่อการเกิดมีเทนในนาข้าว

แบบแผนของฝน การระเหยของน้ำ การรั่วซึมของน้ำในดินตลอดจนการท่วมขังของน้ำในบริเวณนาข้าวต่างๆ มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของดิน เมื่อดินมีน้ำขังออกซิเจนจะหายไปจะส่งผลต่อกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน จากการวิจัยของ Zucong *et al.* (2003) เพื่อหาทางเลือกในการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังพบว่าในช่วงที่มีการระบายน้ำออกจากแปลงนาไม่เพียงแต่จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยตรงแล้วยังจะช่วยให้การปลดปล่อยก๊าซก่อนข้างจะคงที่ในช่วงการเจริญของข้าว ในขณะที่ Minamikawa and Sakai (2006) พบว่าการควบคุมค่า Eh ในดินให้อยู่ภายใต้ขีดจำกัดล่างและบน โดยการระบายน้ำและให้น้ำท่วมขังเป็นช่วงๆ ในนาข้าวสามารถลดการเกิดมีเทนได้ 64% เมื่อเทียบกับการให้น้ำท่วมขังตลอดเวลาโดยที่ผลผลิตข้าวไม่ลดลงรวมทั้ง Rath *et al.* (1999) รายงานว่าการจัดการน้ำสามารถช่วยมิให้ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์ลดการเกิดมีเทนและพบว่าการทำงานน้ำฝนที่มีระดับน้ำสูงจะก่อให้เกิดมีเทนมากกว่า 4-10 เท่าเมื่อเทียบกับการทำนาชลประทานที่ให้น้ำท่วมขังในระดับตื้น

สำหรับงานวิจัยของ Zucong *et al.* (2002) พบว่าการระบายน้ำสามารถลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนได้อย่างมีนัยสำคัญจากการปลูกข้าวแบบน้ำท่วมขัง ส่วนงานวิจัยของ (อนุรักษ์, 2543) ที่ทำการวิจัยผลของระดับน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่มีการปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมและปักดำที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท จังหวัดชัยนาท ใช้พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์คือชัยนาท1 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 20 และ 0 เซนติเมตร ผลวิจัยพบว่าวิธีการปลูกข้าวที่แตกต่างกัน ที่ระดับน้ำเท่ากันไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของการปล่อยก๊าซมีเทน การปล่อยก๊าซจากนาข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีปักดำมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับน้ำที่ขังในแปลงนา โดยในแปลงนาที่น้ำขัง 20 เซนติเมตรจะมีการปล่อยก๊าซออกมามากกว่า รวมทั้ง ปิยะบุตร (2537) เสนอว่าระดับน้ำมีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยที่ระดับน้ำสูงกว่ามีการปล่อยก๊าซมากกว่า ทั้งนี้

เพราะการมีน้ำท่วมขังทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ดักจับและเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน

อนึ่ง สุภสุข (2542) ได้ศึกษาผลของการระบายน้ำที่มีต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวชนิดนาสวน การวิจัยได้ทำในกระถางในเรือนเพาะชำที่บางเขน และสถานีทดลองข้าวชัยนาท ประกอบด้วยพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์คือ ชัยนาท1 และขาวดอกมะลิ105 และการระบายน้ำจากระดับน้ำ 20 เซนติเมตรใน 3 ช่วงเวลาหลังปักดำ (30วัน 60วัน และ 30กับ60วัน) ดินที่ใช้คือชุดดินนครปฐม กำหนดให้สถานที่ตั้งของการทดลองเป็นจำนวนซ้ำของชุดหน่วยทดลอง หนึ่งหน่วยทดลองคือ กระถางขนาด 0.6x0.6x0.6 เมตร เก็บตัวอย่างตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวและช่วงเวลาการระบายน้ำ ผลการวิจัยพบว่าอัตราเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 13.12 และ 5.73 $\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของข้าว โดยมีอัตราสูงสุดที่ระยะเมล็ดนํ้านม ในขณะที่ดินขังน้ำโดยไม่ปลูกข้าวมีอัตราเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 5.12 $\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ ทั้งนี้สภาพภูมิอากาศของแต่ละที่ตั้งการทดลองมีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนเฉพาะในช่วงที่ขังน้ำในการปลูกข้าว มวลชีวภาพของต้นข้าวไม่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน ปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนคือพันธุ์ข้าว ระยะการเจริญของข้าว ความสูงและจำนวนต้นต่อกระถาง สภาพภูมิอากาศของที่ตั้งการทดลอง จังหวะและช่วงเวลาการระบายน้ำ ระดับและความยาวนานในการขังน้ำ โดยผลของการระบายน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูก พบว่าการปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระบายน้ำในช่วง 30 วัน, 60 วัน, 30วัน และ 60 วัน หลังปักดำ มีอัตราเฉลี่ยการปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 11.30, 9.20 และ 7.52 $\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ ตามลำดับ และการปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ระบายน้ำในช่วง 30 วัน, 60 วัน, 30 วัน และ 60 วัน หลังปักดำมีอัตราเฉลี่ยการปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 5.50, 5.24 และ 4.60 $\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ ตามลำดับ

รวมทั้งจากการประมาณหาค่าปริมาณก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังได้ทำการวัดจากนาข้าวในช่วงที่มีน้ำท่วมขังในฤดูแล้งของพื้นที่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และนำมาประเมินหาค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในพื้นที่ทุ่งราบภาคกลางของประเทศไทยได้ดังสมการดังนี้คือ

$$Q = A X F X D \quad (4)$$

เมื่อ Q = ปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมด (Tg)

A = พื้นที่นาข้าว (km^2)

F = อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

D = จำนวนวันที่น้ำท่วมขังในนาข้าว

ซึ่งค่าที่ประมาณได้สำหรับน้ำท่วมขังในนา 90 วัน พบว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในทุ่งราบภาคกลางของไทยมีประมาณ $500 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ และมีค่าตลอดฤดูเท่ากับ 0.41 Tg (Yagi, 1997)

สำหรับกรณีศึกษาทางเลือกในการบรรเทาการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากการปลูกพืชในประเทศจีน ได้ทำในที่ม่น้ำขังในเมือง Chongqing ช่วงปี 2538 ถึง 2543 โดยมี 2 รูปแบบของสถานที่เพาะปลูกและ 4 เงื่อนไขการทดลองปลูกข้าวในที่ราบในฤดูร้อน โดยได้ไถคราดและพักที่ดินไว้ในฤดูหนาวและมีน้ำท่วมขังตลอดทั้งปี ปลูกพืชไรในที่ราบในฤดูหนาวภายใต้เงื่อนไขการระบายน้ำ ปลูกข้าวในที่ดอนในฤดูร้อนโดยไม่มีการไถคราดและพักที่ดินและมีน้ำท่วมขังตลอดทั้งปี และปลูกพืชไรในที่ดอนในฤดูหนาวภายใต้เงื่อนไขการระบายน้ำ พบว่าจากค่าเฉลี่ย 6 ปี เงื่อนไขการปลูกข้าวในที่ม่น้ำท่วมขังและมีการระบายน้ำออกสามารถลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนได้ ประมาณ 42 % สำหรับนาในที่ราบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการระบายน้ำสำหรับช่วงการเจริญเติบโตของพืชไม่เพียงแต่ช่วยป้องกันการแพร่กระจายของก๊าซ แต่ยังสามารถลดการแพร่กระจายได้อย่างยั่งยืนระหว่างฤดูเพาะปลูก ขณะเดียวกันการระบายน้ำแบบสมบูรณ์ของพืชในที่ดอนก็สามารถลดการแพร่กระจายของมีเทนได้อย่างมีนัยสำคัญจากการปลูกข้าวแบบน้ำท่วมขัง (Zucong *et al.*, 2002)

4. ปัจจัยจากดินที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทนในนาข้าว

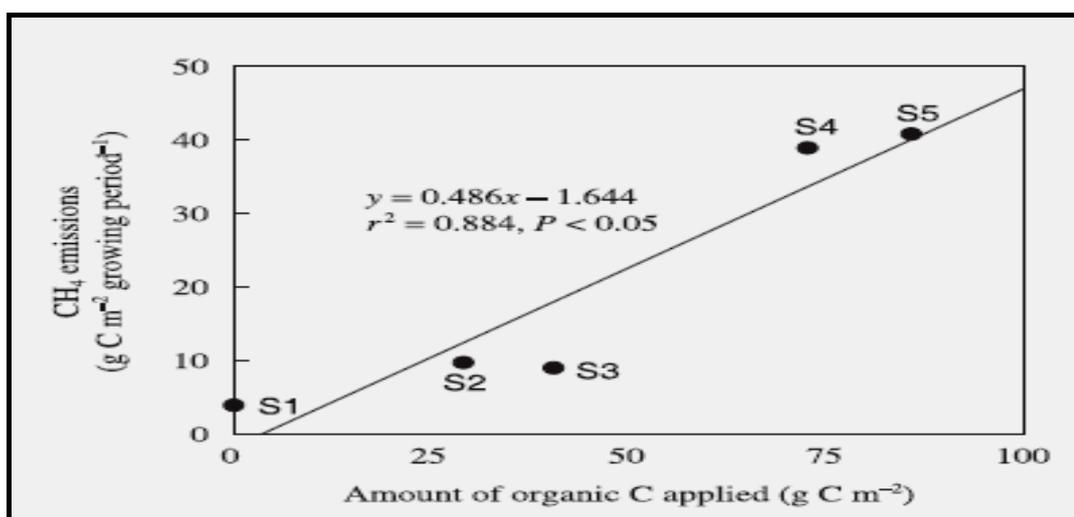
4.1 ดินและแหล่งคาร์บอนในดิน

พิจารณาจากผลทดลองของ Minamikawa and Sakai (2005) ที่หาค่าการแพร่กระจายของมีเทนในดินสองชนิดที่มีการจัดการน้ำเหมือนกัน พบว่าให้ค่ามีเทนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ Wang *et al.* (1993) รายงานว่าค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) นับเป็นดัชนีสำคัญที่บ่งชี้การเกิดปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชันในดินซึ่งมีผลต่อการเกิดมีเทน โดยทั่วไปค่าEhในดินต่ำกว่า -150mV จึงจะเริ่มเกิดมีเทน จากการรวบรวมของ ทศนีย์ (2543) พบว่าได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่สถานีทดลองข้าวหลายแห่งมีผลรายงานว่ามีเทนที่วัดได้จากนาข้าวมีความสัมพันธ์กับค่า Eh ของดิน โดยปริมาณที่วัดได้มีค่าสูงสุดเมื่อEh ของดินมีค่าต่ำกว่า -200mV สำหรับการทดลองที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรีพบว่ามีค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของ CH_4 flux เท่ากับ 19.5 และ $46.6 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$

ในฤดูแล้ง ($E_h = -236 \pm 32$ mV) และมีค่าเท่ากับ 32.2 และ 55.9 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ในฤดูฝน ($E_h = -241 \pm 14$ mV) ในขณะที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวงมีปริมาณมีเทนที่ปลดปล่อยออกมาจากนาข้าวให้ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดเท่ากับ 3.8 และ 9.4 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (E_h ต่ำสุดเท่ากับ -189 ± 21 mV) ส่วนที่สถานีทดลองข้าวชัยนาทพบว่ามีความปริมาณมีเทนเท่ากับ 1.6 และ 3.0 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ตามลำดับ (E_h ต่ำสุดเท่ากับ -171 ± 13 mV) โดยที่ Kimura and Minami (1995) พบว่าการใส่อินทรีย์วัตถุลงไปดินทำให้ปริมาณมีเทนที่ถูกปล่อยออกมามีค่าสูงขึ้น โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยออกมาที่สถานีทดลองข้าวราชบุรีมีค่าเท่ากับ $51 - 69$ $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ส่วนที่สถานีทดลองข้าวปทุมธานีซึ่งดินเป็นดินกรดจัดเมื่อใส่อินทรีย์วัตถุลงไปมีปริมาณมีเทนเพียง $5 - 23$ $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ เมื่อพิจารณาปริมาณมีเทนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมดในช่วงที่มีการปลูกข้าวพบว่า ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี คลองหลวงและชัยนาท ในปี 2534 มีค่าเท่ากับ $3.6 - 77$ g m^{-2} ส่วนที่สถานีทดลองข้าวราชบุรี ปทุมธานี และสุรินทร์ ในปี 2535 มีค่าอยู่ระหว่าง $1.3 - 78.6$ g m^{-2}

อนึ่งดินที่มีน้ำขังเป็นสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะพิเศษคือมีชั้นที่มีออกซิเจนบางๆ สัมผัสกับชั้นดินที่ไม่มีออกซิเจนข้างล่าง ความหนาของชั้นที่ถูกออกซิไดส์ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ไปและปริมาณออกซิเจนที่ได้มาจากบรรยากาศเมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปจะมีระดับขึ้นเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนตามลำดับของสารประกอบต่างๆ โดยมีเทนจะเกิดขึ้นหลังจากรีดิคชันของสารประกอบเหล่านี้ เมื่อมีเทนเกิดขึ้นก็จะแพร่กระจายไปยังชั้นที่มีออกซิเจนและถูกออกซิไดส์โดยจุลินทรีย์พวกมีธาโนโทรฟ (methanotrophs) ขณะที่พืชชั้นอยู่มีเทนจะถูกปลดปล่อยไปทาง aerenchyma ของพืชเหล่านั้น การที่มีมีเทนเกิดขึ้นและถูกออกซิไดส์ในดินที่ปลูกข้าวเป็นกระบวนการทางจุลชีววิทยาซึ่งควบคุมโดยปัจจัยทางชีวเคมีและกายภาพมากมายในกรณีที่มีข้าวอยู่ด้วยบริเวณรากข้าวมีผลต่อการสะสมและออกซิเดชันของมีเทนซึ่งการเกิดมีเทนจากแหล่งคาร์บอนพบว่า สารประกอบที่ให้พลัง งานและคาร์บอนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สร้างมีเทนคือ สารประกอบที่ได้จากการเน่าเปื่อยของอินทรีย์วัตถุเช่น H_2 , CO_2 , formate, acetate, methanol และ methylated amine แหล่งสำคัญที่จะให้คาร์บอนกับจุลินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าว น้ำขังมี 3 แหล่งด้วยกันคืออินทรีย์วัตถุดั้งเดิม การให้อินทรีย์วัตถุเพิ่มเติมลงไปดิน และจากเศษรากหรือสารประกอบที่ขับออกจากรากข้าว สำหรับ 3 แหล่งที่กล่าวถึงนี้พบว่า การให้อินทรีย์วัตถุเพิ่มเติมลงไปดินมีความสำคัญมากที่สุด โดยการทดลองของ Naser *et al.* (2007) พบว่าเมื่อใส่ฟางข้าวในนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลาปริมาณ $0-219$ g matter m^{-2} ให้ค่ามีเทนเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟางข้าวที่ใช้รวมทั้งการแพร่กระจายของมีเทนมากกว่าในนาข้าวที่ไม่ใส่ฟางข้าวประมาณ $2-10$ เท่า นอกจากนี้ยังได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างการใส่ organic C และการแพร่กระจายของมีเทนซึ่งแสดงดังภาพที่ 3 ส่วน Yagi and Minami (1991) พบว่าเมื่อใส่ฟางข้าวในอัตรา $1.0-1.4$ ตัน/ไร่ เพิ่มอัตราการปลดปล่อย

มีเทน 1.8-3.5 เท่า แต่การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวได้ผลไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม Chidthaisong (2007) รายงานว่าการเกิดมีเทนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เดิมในดินจะเกิดมีเทนมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยลงในดินแต่ใช้เฉพาะอินทรีย์วัตถุคั้งเดิมพบว่าให้ค่ามีเทนแตกต่างกัน



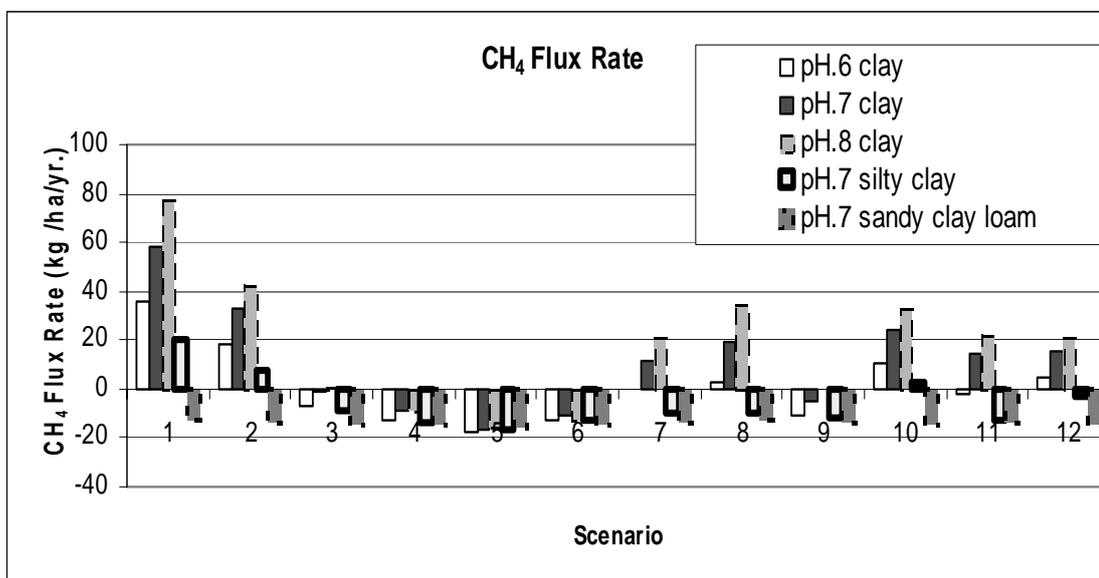
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการใส่ organic C และการแพร่กระจายของมีเทน

ที่มา: Naser *et al.* (2007)

4.2 pH ของดิน

จากรายงานต่างๆ พบว่า pH ของดินมีความสำคัญต่อการเกิดมีเทน โดยพบว่าในดินเบสมีการเกิดมีเทนมากกว่าในดินกรด ทั้งนี้จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนมีความไวต่อปฏิกิริยาในดินมาก ส่วนใหญ่แล้วจุลินทรีย์เหล่านี้จะเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6 – 8 และ pH ที่เหมาะสมคือ 7 แต่อย่างไรก็ตามมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดเช่นในดินพีทซึ่งเป็นดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากกว่า 35% และชั้นอินทรีย์วัตถุลึกมากกว่า 50 ซม. โดยทั่วไปการนำเอาวัสดุที่มีความเป็นกรดใส่ลงไปในดินก็จะทำให้การเกิดมีเทนลดลงรวมทั้ง Peng *et al.* (1995) พบว่ามีเทนเกิดมากที่สุดในช่วง pH 6.9-7.1 ส่วน pH ที่ต่ำกว่า 5.8 และสูงกว่า 8.8 จะไม่พบการเกิดมีเทน ขณะที่อัจฉราและบัญชา (2549) ได้วิเคราะห์การเกิดมีเทนในสภาพที่มี pH แตกต่างกันที่การจัดการน้ำและปัจจัยอื่นๆ เหมือนกันโดยประมาณค่าจากแบบจำลอง DNDC ดังภาพที่ 4 พบว่าเมื่อดินเป็นกรดมากกว่าจะให้ค่ามีเทนลดลง รวมทั้งเมื่อดินมีค่า pH เท่ากันแต่เป็นดินต่างชนิดกันก็ทำให้เกิดมีเทนแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามจากการให้น้ำบางกรณีมีค่าปริมาณมีเทนเป็นลบ ทั้งนี้เพราะข้อมูลที่ใส่เข้าไปทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาและไม่ก่อให้เกิดมีเทน



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบการเกิดมีเทนที่ scenario ต่างๆ โดยเปลี่ยนค่า pH และชนิดดิน

ที่มา: อัจฉรา และ บัญชา (2549)

4.3 อุณหภูมิ

จากรายงานของ ทศนีย์ (2543) พบว่าอุณหภูมิและการเกิดมีเทนมีความสัมพันธ์กัน โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเกิดกระบวนการในดินต่างๆสูงขึ้นเช่นการสลายตัวของก๊าซออกซิเจนของอินทรีย์วัตถุและกระบวนการทางชีววิทยาอื่นๆ การระเหยน้ำจากดิน และการแพร่กระจายของก๊าซไปยังบรรยากาศ ในภาคสนามอาจไม่พบความสัมพันธ์ในทางบวก เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เป็นตัวจำกัด อย่างไรก็ตาม Dunfield *et al.* (1993) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดและการใช้มีเทนคือ 25°C และ ระวีวรรณ (2537) ได้ทดลองหาเวลาและปริมาณในการปล่อยก๊าซมีเทนพบว่าในนาสวนมีการปล่อยมีเทนเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของอากาศและดิน โดยในระยะที่ต้นข้าวตั้งท้องและสร้างเมล็ดอัตราการปล่อยมีเทนในช่วง 15.00 - 16.00 นาฬิกาจะสูงกว่าช่วงเวลาอื่น แต่สำหรับนาไร่ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ในขณะที่ Liou *et al.* (2003) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดมีเทนกับอุณหภูมิในช่วงข้าวแตกกอมีมากที่สุด ขณะที่ในช่วงตั้งท้องและสุกแก่มี

ความสัมพันธ์น้อย นอกจากนี้การเกิดมีเทนในช่วงเที่ยง (12.00น.)จะมีปริมาณมากกว่าในช่วงเช้านี้ (6.00น.) ประมาณ 1.7-2 เท่า นอกจากนี้ Yang and Chang (1998) สรุปจากการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดมีเทนและอุณหภูมิมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 15-37°C โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ มากขึ้นเป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตมีเทนมากขึ้น

4.4 รีดักชันก่อนการเกิดมีเทน

ทราบได้ที่ยังมีออกซิเจนอยู่ในดิน สารประกอบอื่นๆ ในดินเช่น NO_3^- , Mn^{+4} , Fe^{+3} , $\text{SO}_4^{=}$ และ CO_2 จะไม่ถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอน อย่างไรก็ตามหลังจากที่ดินมีน้ำขังออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่ขังเหนือดินและในดินจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์พวก facultative anaerobes และ strict anaerobes จะนำเอาตัวรับอิเล็กตรอนดังกล่าวไปใช้คือ $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$, $\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$, $\text{Mn}^{+4} \rightarrow \text{Mn}^{+2}$, $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$, $\text{SO}_4^{=} \rightarrow \text{S}^-$ และ $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ ปฏิกิริยาต่างๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นเรียงตามลำดับเป็นขั้นตอน (Li, 2007) แสดงดังภาพที่ 5 และเมื่อยังมีแหล่งของคาร์บอนอยู่ในดิน การลดลงของ Eh ของดินแสดงให้เห็นถึงการลดลงของ oxidant เหล่านั้น โดยที่ Li et al. (2004) รายงานว่า $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$, N_2 เมื่อ Eh ของดินมีค่า +200 ถึง +500 mV Fe^{+3} ถูกรีดิวซ์ในช่วง +100 ถึง +200 mV ส่วนซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์เมื่อ Eh ของดินลดลงเป็น -150 mV ต่อมาเมื่อ Eh อยู่ในช่วง -150 ถึง -350 H_2 จะทำปฏิกิริยากับสารคาร์บอนในดินเกิดมีเทนเป็นต้น ดังนั้นการรู้ค่าโดยประมาณของค่า Eh ที่แต่ละระบบถูกรีดิวซ์จะเป็นประโยชน์ทำให้ทราบว่าในดินขณะนั้นมีรีดักชันของระบบใดเกิดขึ้นสามารถนำไปประกอบการยับยั้งการลดลงของ Eh ดินได้เช่นการใส่สารประกอบที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนลงไป

Greenhouse Gas Production/Consumption Driven by Microbial Activity in Specific Eh Ranges		
Dominant Oxidant	Eh (mV)	Reaction
Oxygen (O ₂)	650	C + O ₂ = CO ₂
Nitrate (NO ₃ ⁻)	500	
Nitrite (NO ₂ ⁻)		
Nitric oxide (NO)		
Nitrous oxide (N ₂ O)		
Manganese (Mn ⁴⁺)	200	Mn ⁴⁺ + 2e = Mn ²⁺
Iron (Fe ³⁺)	100	Fe ³⁺ + e = Fe ²⁺
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	0	SO ₄ ²⁻ + 10 H = H ₂ S + 4H ₂ O
	-150	
Hydrogen (H ₂)		
	-350	

ภาพที่ 5 การเกิดปฏิกิริยาในดินที่ค่า Eh ต่างๆ

ที่มา: Li (2007)

สำหรับสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาค่า Eh นั้น Stumm and Morgan (1981) ได้เสนอ the Nernst equation ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานทางด้านเทอร์โมไดนามิกที่หาค่า Eh โดยคิดจากความเข้มข้นของตัวออกซิแดนต์และตัวรีดิวซ์ที่มีอยู่ในสารละลายดินดังสมการที่ 5 และอีกสมการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาคือ the Michaelis - Menten equation ซึ่งเป็นสมการที่มีพื้นฐานอธิบายการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จากสารอาหาร (Paul and Clark, 1989) แสดงดังสมการที่ 6 สำหรับความสัมพันธ์ของสมการที่ 5 และ 6 แสดงในภาพที่ 6

$$Eh = Eo + \frac{RT}{nF} \times \ln \frac{[O]}{[W]} \quad (5)$$

เมื่อ Eh = รีดอกซ์โพเทนเชียล (Volt)

Eo = รีดอกซ์โพเทนเชียลมาตรฐาน (Volt)

R = ค่าคงที่ของก๊าส

T = อุณหภูมิ (°K)

n = จำนวนอิเล็กตรอน

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์

$[O], [W]$ = ความเข้มข้นของตัวออกซิแดนซ์และตัวรีดิวซ์ตามลำดับ (mol l^{-1})

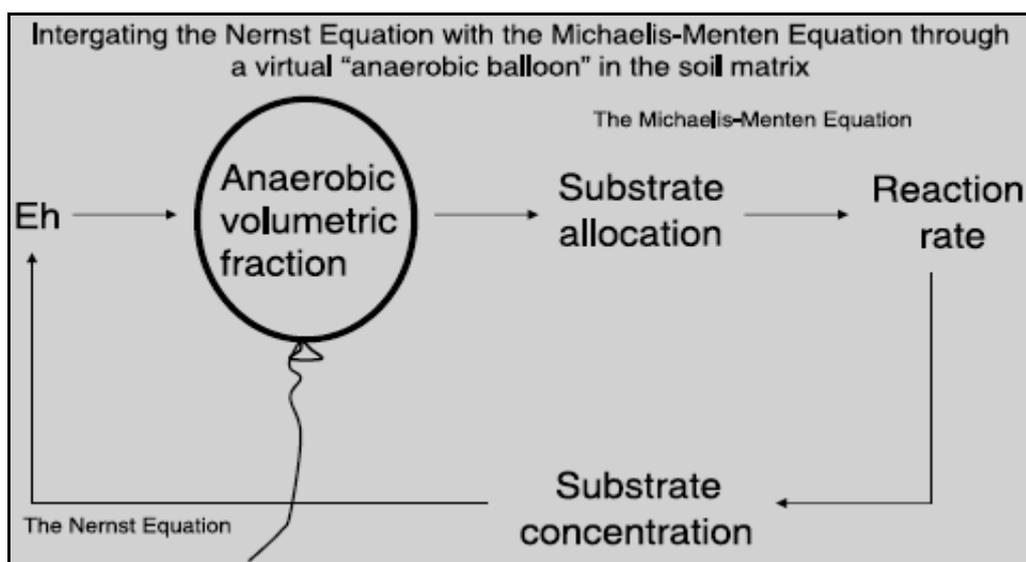
$$R = R_{\max} \times \frac{\text{DOC}}{K_a + \text{DOC}} \times \frac{[O]}{K_b + [O]} \quad (6)$$

เมื่อ R, R_{\max} = อัตราการเกิดปฏิกิริยาและอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุด

DOC = ความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์คาร์บอน

$[O]$ = ความเข้มข้นของตัวออกซิแดนซ์ (mol l^{-1})

K_a, K_b = ค่า half-saturation constants ของ DOC และตัวออกซิแดนซ์ตามลำดับ

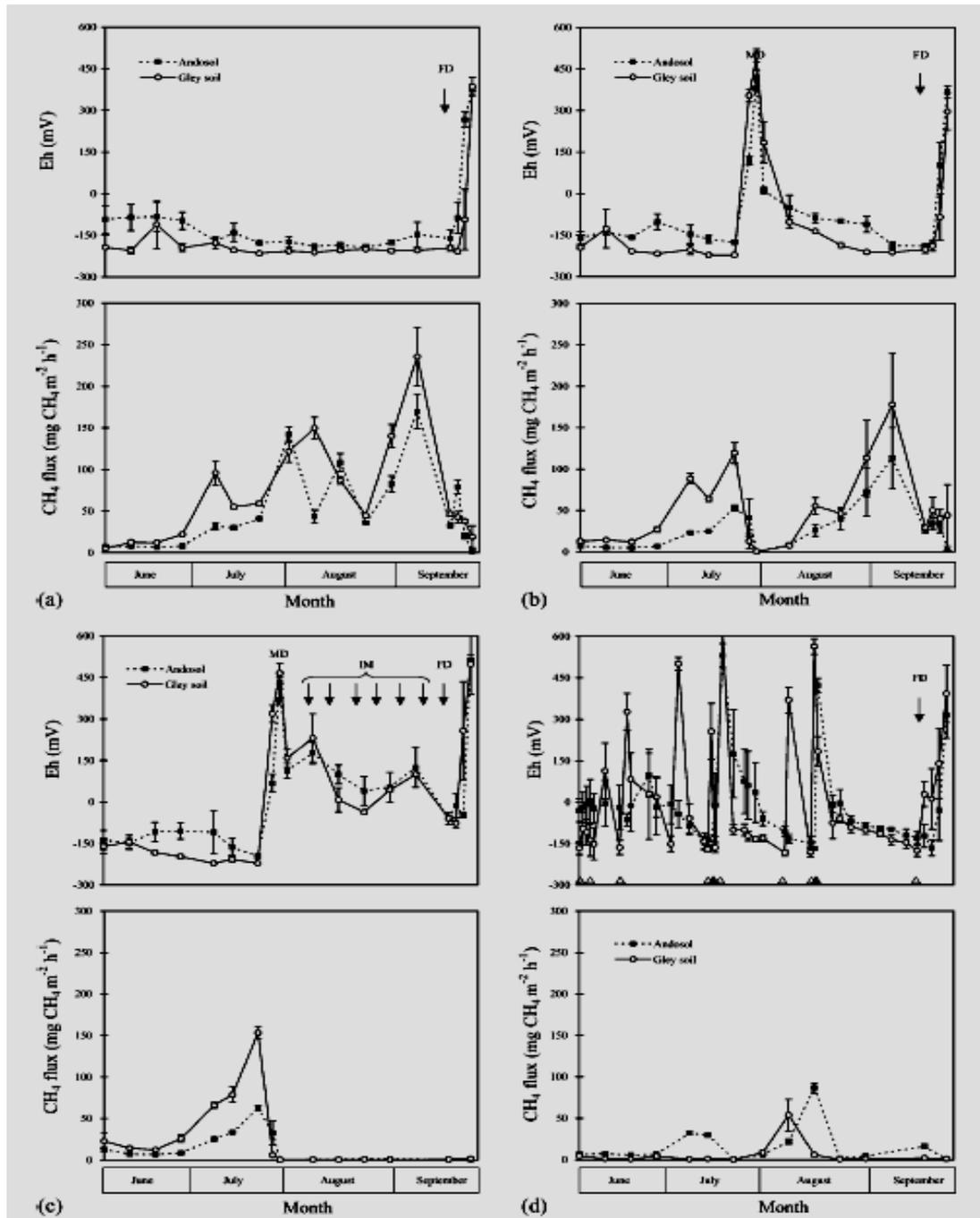


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมการ the Nernt equation และ the Michaelis-Menten equation

ที่มา: Li (2007)

4.5 ค่า Eh วิฤฤติที่เกิดมีเทน

มีเทนจะเกิดขึ้นไม่มากนักจนกว่าซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์หมด รวมทั้งมีเทนเริ่มเกิดขึ้นเมื่อ Eh ของดินมีค่าประมาณ -150 mV ถึงแม้ว่าจะมีรายงานจากนักวิจัยอื่นๆ ว่ามีเทนจะเกิดขึ้นที่ Eh -300 mV (Connell และ Patrick, 1996) อย่างไรก็ตาม Wang *et al.* (1995) รายงานว่าที่สภาวะรีดักชัน Eh ในดินสามารถลดลงจากค่าบวก (600 mV) ไปยังค่าลบ (< -200 mV) ได้แต่โดยทั่วไปค่า Eh ที่ก่อให้เกิดมีเทนจะอยู่ในช่วง -150 ถึง -200 mV รวมทั้ง Li *et al.* (2004); Li (2007) เสนอว่ามีเทนจะเกิดขึ้นเมื่อ Eh อยู่ในช่วง -150 ถึง -350 ในขณะที่ Minamikawa and Sakai (2005) ได้เสนอผลการทดลองสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดก๊าซมีเทนและค่า Eh ในดินสองชนิดต่างกัน โดยมีการจัดการน้ำแบบต่างๆพบว่าปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจากกรณีต่างๆ คือมีการระบายน้ำระหว่างฤดู ระบายน้ำระหว่างฤดูรวมกับการให้น้ำเป็นระยะๆ และกรณีควบคุมค่า Eh ในดินมีค่าเท่ากับ 64%, 26% และ 17% ของการให้น้ำท่วมขังในนาข้าวแบบตลอดเวลา ซึ่งหมายถึงการควบคุมค่า Eh ทำให้เกิดมีเทนในนาข้าวน้อยที่สุดแสดงตามภาพที่ 7 นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ Yu *et al.* (2001) ที่พบว่าค่า Eh วิฤฤติมีค่าแตกต่างกันตามสถานที่ทดลอง ได้แก่ Eh สำหรับนาข้าวในอเมริกา ประเทศจีน พื้นที่ปลูกข้าวโพดและข้าวสาลีในเบลเยียมมีค่า -170 , -150 , -215 และ -195 mV ตามลำดับ โดยดินที่มีค่า Eh ต่ำจะก่อให้เกิดมีเทนมากกว่ารวมทั้งได้เสนอกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Eh วิฤฤติและค่าการแพร่กระจายสูงสุดของมีเทนซึ่งมีแนวโน้มที่แปรผันตามกัน



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดมีเทนและค่า Eh ที่การจัดการน้ำต่างๆ ในดิน 2 ชนิด

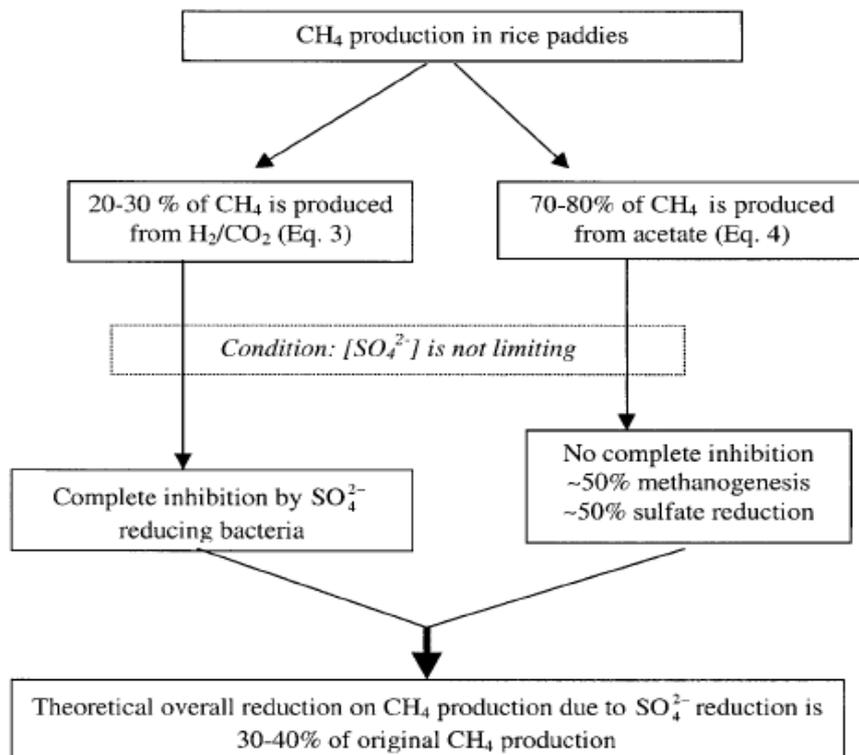
ที่มา: Minamikawa and Sakai (2005)

4.6 การใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยจะทำให้สิ่งต่างๆ ในดินเปลี่ยนแปลงไป เช่น pH จำนวนจุลินทรีย์ เศษพืช หรือสิ่งที่ขับออกจากรากพืชเปลี่ยนไป จากรายงานของ Hori *et al.* (1993) พบว่าการใส่ปุ๋ยที่มีส่วนผสมของซัลเฟต (SO_4) สามารถลดการเกิดมีเทนได้เช่นเดียวกับ Wang *et al.* (1992) รายงานว่าเมื่อใส่ปุ๋ยซัลเฟตลงไปในดินทำให้ค่ามีเทนลดลง ทั้งนี้เพราะมีการแก่งแย่งสารตั้งต้นระหว่างแบคทีเรียที่ไปรีดิวซ์ซัลเฟตและมีธาโนเจนซึ่งเป็นตัวสร้างมีเทน และจากการทดลองของ Chin and Conrad (1995) พบว่าการเกิดมีเทนในนาข้าว 20-30% มาจากปฏิกิริยารีดักชันของ CO_2 และ H_2 อีก 70 - 80% มาจากกรดอะซิติก ดังนั้นเงื่อนไขในดินที่มีซัลเฟตไม่จำกัด Denier Van Der Gon *et al.* (2001) ได้เสนอรูปแบบการลดปริมาณมีเทนในนาข้าวจากการแก่งแย่งสารตั้งต้นของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยลดมีเทนได้ประมาณ 30-40% ดังแสดงในภาพที่ 8 ขณะที่ Minamikawa *et al.* (2006) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (NH_4)₂ SO_4 ในนาข้าวสามารถลดมีเทนได้ภายใต้เงื่อนไขการทดลองซึ่งมีการเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยจาก 45-135 kg N ha⁻¹ เปรียบเทียบกับการใส่ทั่วไปที่อัตรา 90 kg N ha⁻¹ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยมากขึ้น การเกิดมีเทนจะน้อยลงและผลผลิตมากขึ้นเช่นกัน

อนึ่งการทดลองของ Denier van de Gon and Neue (1994) พบว่าการใส่ยิปซัม (Ca SO_4) ก็สามารถลดมีเทนได้เช่นเดียวกัน ขณะที่ ทศนีย์ (2543) กล่าวว่านักวิจัยบางคนพบว่ามีเทนเกิดขึ้นน้อยลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (NH_4)₂ SO_4 หรือยูเรียลงไปในดินโดยพบว่าเมื่อมีการใส่ (NH_4)₂ SO_4 ลงไปคลุกกับดินที่ความลึก 20 ซม. ทำให้การเกิดมีเทนลดลง 42% ของค่าปกติ แต่ถ้าใส่ปุ๋ยไปที่ผิวดินมีเทนลดลง 91% ในกรณีที่ความสำคัญต่อการเกิดมีเทนเพราะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน การทดลองดินที่ใส่ NH_4NO_3 อัตราการเกิดมีเทนต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ใส่ปุ๋ยยูเรียและ (NH_4)₂ SO_4 ทั้งนี้เพราะในตรหะรักษาระดับ Eh ของดินและทำให้การเกิดมีเทนลดลง เมื่อมีการใส่ในตรทลงไปในดินที่ถูกรีดิวซ์อย่างรุนแรง Eh ของดินเพิ่มจาก -200 เป็น +200 mV รวมทั้งการทดลองของ Liou *et al.* (2003) พบว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตสามารถลดมีเทนในนาข้าวได้ถึง 37-85% เมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในตรท

นอกจากนี้ ภาคภูมิ (2543) ยังพบอีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมัก เนื่องจากปุ๋ยหมักเป็นแหล่งของคาร์บอนเมื่อถูกย่อยสลายทำให้เกิดก๊าซมีเทน กรณีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนชนิดแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่ามีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าใส่ปุ๋ยยูเรีย รวมทั้งพบว่าก๊าซมีเทนที่ปล่อยจากนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตามโดยใช้ข้าว 4 พันธุ์ ให้ผลต่างกัน



ภาพที่ 8 การลดปริมาณมีเทนในนาข้าวจากการแย่งสารตั้งต้นของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

ที่มา: Denier Van Der Gon et al. (2001)

4.7 ตัวยับยั้งการเกิดมีเทนและออกซิเดชันของมีเทน

ทศนิยม (2543) รายงานว่าออกซิเจนและตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ เช่น NO_3^- , Mn^{+4} , Fe^{+3} , SO_4^{2-} เป็นตัวยับยั้งการเกิดมีเทน นอกจากนั้นก็มี chlorinated methane เช่น chloroform และ methylene chloride ที่เป็นตัวยับยั้งการเกิดมีเทน ตัวที่ยับยั้ง nitrification ก็ยับยั้งการเกิดมีเทนด้วย นอกจากนั้นโลหะบางตัว เช่น Cu และ Cd ก็อาจยับยั้งการเกิดมีเทนได้ สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and Toxic Materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจนหรือแอมโมเนียสามารถทำให้ขบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้ และเมื่อมีเทนเกิดขึ้นจะมีการปลดปล่อยมีเทนจากแหล่งต่างๆ ไปยังบรรยากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเกิดและการใช้มีเทนในระบบบิโเวอส์ จุลินทรีย์ที่ใช้มีเทนในการเจริญเติบโตหรือพวกมีธาโนโทรฟ (methanotroph) ซึ่งเป็น obligate aerobes แหล่งที่เกิดออกซิเดชันของมีเทนที่ทำให้มีเทนลดลงคือ

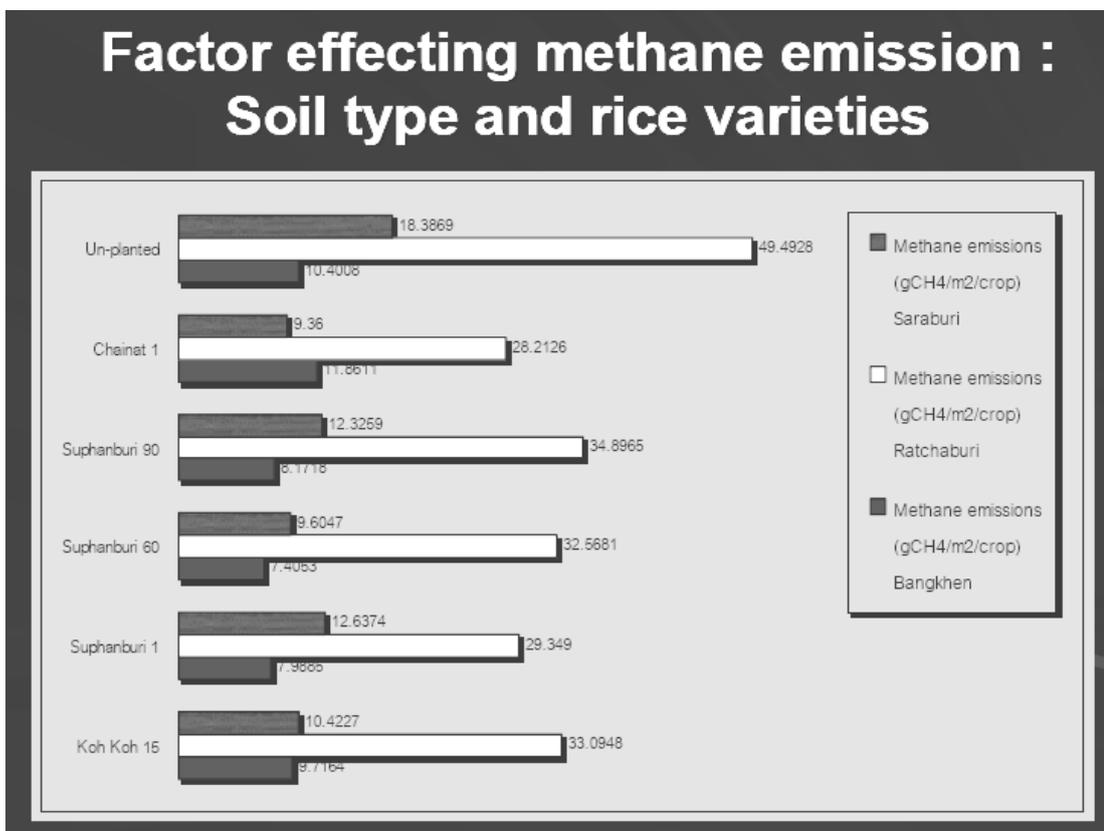
ก. ดินชั้นบน โดยที่มีเทนถูกปลดปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์พวกมีธาโนเจนในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนในหน้าตัดดินซึ่งเป็นชั้นรีดิคซ์และจะถูกจุลินทรีย์พวกมีธาโนโทรปใช้ไปในชั้นออกซิไดซ์ทำให้มีเทนลดลงโดยพบว่าออกซิเดชันของมีเทนในผิวดินที่มีการขังน้ำจะมีถึง 80% ของ CH_4 flux

ข. บริเวณรากข้าวทั้งนี้เพราะในบริเวณรากจะมีออกซิเจนจึงทำให้เกิดออกซิเดชันของมีเทนทำให้ค่ามีเทนลดลง

ค. อิทธิพลของสาหร่าย การที่มีสาหร่ายเจริญเติบโตในน้ำที่ขังอยู่เหนือดินอาจมีผลต่อการปลดปล่อยมีเทน เนื่องจากมีออกซิเจนเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและเกิดออกซิเดชันของมีเทน ทำให้มีเทนถูกปลดปล่อยออกไปในบรรยากาศน้อยลง

5. ปัจจัยจากพันธุ์ข้าวที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทนในนาข้าว

ชนิดของข้าวพันธุ์ต่างๆ จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของการเกิดช่องว่างในลำต้น (aerenchyma) และความมากน้อยของรากข้าว ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนี้จะควบคุมการเคลื่อนย้ายและออกซิเดชันของก๊าซมีเทน นอกจากนี้พันธุ์ข้าวยังแตกต่างกันในการเกิดสารประกอบจากรากข้าวและเศษเหลือซึ่งมีผลต่อการเกิดมีเทนและผลสุดท้ายที่จะปลดปล่อยให้แพร่กระจายออกไปในบรรยากาศ สำหรับงานวิจัยของภาคภูมิ (2543) ซึ่งศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวในนาหว่านน้ำตมที่บริเวณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี โดยใช้ข้าวจำนวน 4 พันธุ์ คือข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 1 ร่วมกับการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยต่างๆ คือ ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยหมักและปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยหมักและปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากที่สุด รองลงมาได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1 และสุพรรณบุรี 1 ตามลำดับ โดยที่อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีความสัมพันธ์กับปริมาณช่องอากาศของส่วนที่อยู่เหนือดินและรากและอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ของรากและดินเหนือดินรวมทั้งอรณิศา (2542) ได้ทำการวิจัยพบว่า อิทธิพลของพันธุ์ข้าวมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยทำการทดลองจากข้าว 5 สายพันธุ์ในระบบนิเวศน์และเงื่อนไขการปลูกที่เหมือนกัน มีผลการปลดปล่อยก๊าซดังนี้คือข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 มากที่สุด รองลงมาได้แก่ กข.15, สุพรรณบุรี 60, สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 1 ตามลำดับโดยมีค่าการปลดปล่อยมีเทนคือ 34.9, 33.1, 32.6, 29.3 และ 28.2 $\text{g m}^{-2} \text{crop}^{-1}$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Taoprayoon (2007) ได้เปรียบเทียบพบว่าพันธุ์ข้าวต่างชนิดกันให้ผลมีเทนต่างกันดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การเกิดมีเทนในนาข้าวจากกรณีพันธุ์ข้าวและชนิดดินแตกต่างกัน

ที่มา: Taoprayoon (2007)

6. การแพร่กระจายของมีเทนสู่บรรยากาศ

จากการสรุปของ Chidthaisong (2007) พบว่าการแพร่กระจายของมีเทนจากนาข้าวไปสู่บรรยากาศประกอบด้วย 3 ทางหลัก คือ ผ่านช่องว่างในพืช (vascular transport by plants) ซึ่งมากที่สุดประมาณ 90% และผ่านการเกิดฟองก๊าซ (ebullition) รวมกับการแพร่กระจายในรูปโมเลกุล (molecular diffusion) อีก 10% ดังนั้นมักพบว่ามีการปลดปล่อยมีเทนในนาที่มีข้าวมากกว่านาที่ไม่มีข้าว โดยที่ข้าวพันธุ์ต่างๆ จะมีค่าปล่อยแตกต่างกัน เช่นเดียวกับ ทศนีย์ (2543) รายงานว่าการปลดปล่อยมีเทนไปยังบรรยากาศเกิดจากผลต่างของการเกิดมีเทนและออกซิเดชันของก๊าซมีเทนมี 3 ทางหลัก คือ

6.1 การเกิดฟองก๊าซ

เกิดขึ้นเมื่อความดันของก๊าซมีเทนที่อยู่ในดินสูงกว่าความดันของน้ำ ผลก็คือมีการสูญหายของก๊าซออกไปยังบรรยากาศในรูปของฟองก๊าซ การออกไปในลักษณะนี้มีประมาณ 49-64% โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำคัญในช่วงแรกของการขังน้ำที่ต้นข้าวยังเล็กอยู่ส่วน vascular transport มีความสำคัญในช่วงที่ต้นข้าวโตขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดฟองก๊าซก็คือความเร็วลม อุณหภูมิของน้ำ ความดันบรรยากาศ แสงแดด ระดับน้ำ เป็นต้น

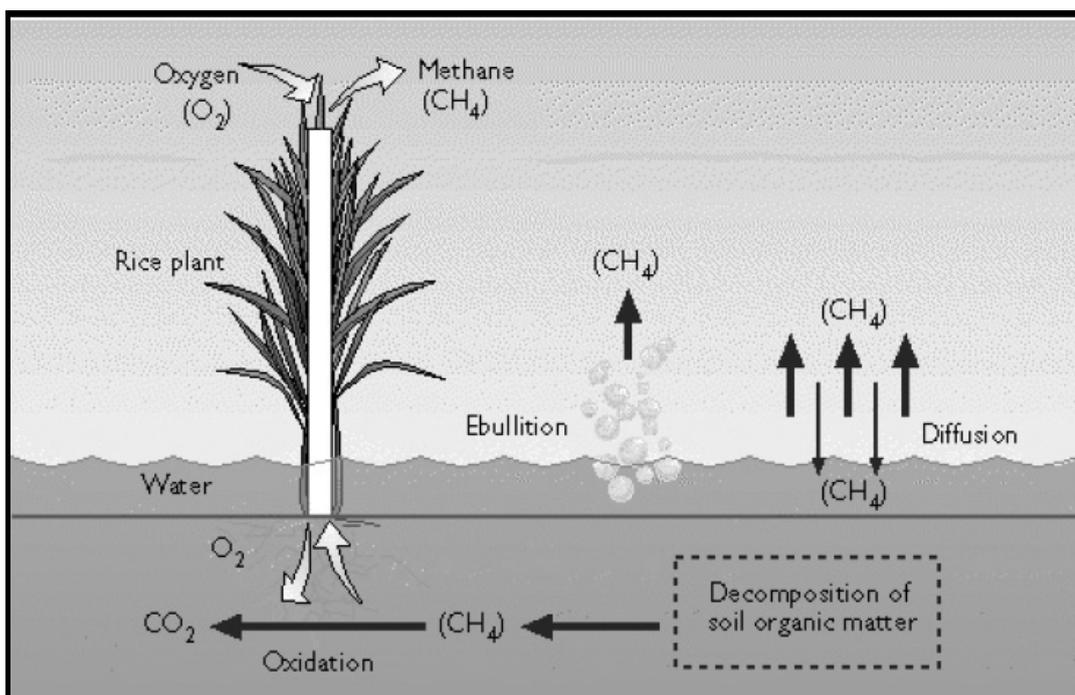
6.2 การแพร่กระจายในรูปของโมเลกุล

ก๊าซมีเทนที่ละลายได้อาจแพร่กระจายไปยังส่วนที่สัมผัสกับน้ำและอากาศสัมผัสกับน้ำ แต่การเคลื่อนที่ของก๊าซในน้ำนั้นช้ามาก ดังนั้นการแพร่กระจายของก๊าซเกือบจะหยุดเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขัง อย่างไรก็ตามยังมีการแพร่กระจายของก๊าซเกิดขึ้น

6.3 การเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในพืช

ข้าวเป็นพืชที่มี aerenchyma ซึ่งสามารถนำออกซิเจนจากอากาศไปยังรากได้ ระบบที่มีช่องว่างให้ก๊าซผ่านได้นี้ทำให้มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เคลื่อนที่จากดินไปยังบรรยากาศได้ ดังนั้นมักพบว่าการปลดปล่อยมีเทนในนาที่มีข้าวมากกว่านาที่ไม่มีข้าว เนื้อเยื่อ aerenchyma ของต้นข้าวนี้ช่วยทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในชั้นที่ไม่มีออกซิเจนออกไปเร็ว โดยมีเทนถูกปลดปล่อยไปทางนี้มีค่าประมาณ 95% ของมีเทนที่ปลดปล่อยจากนาข้าวไปยังบรรยากาศ

การเคลื่อนย้ายมีเทนไปในบรรยากาศแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเคลื่อนย้ายมีเทนไปในบรรยากาศ

ที่มา: Denier van der Gon (1996)

แบบจำลอง DNDC

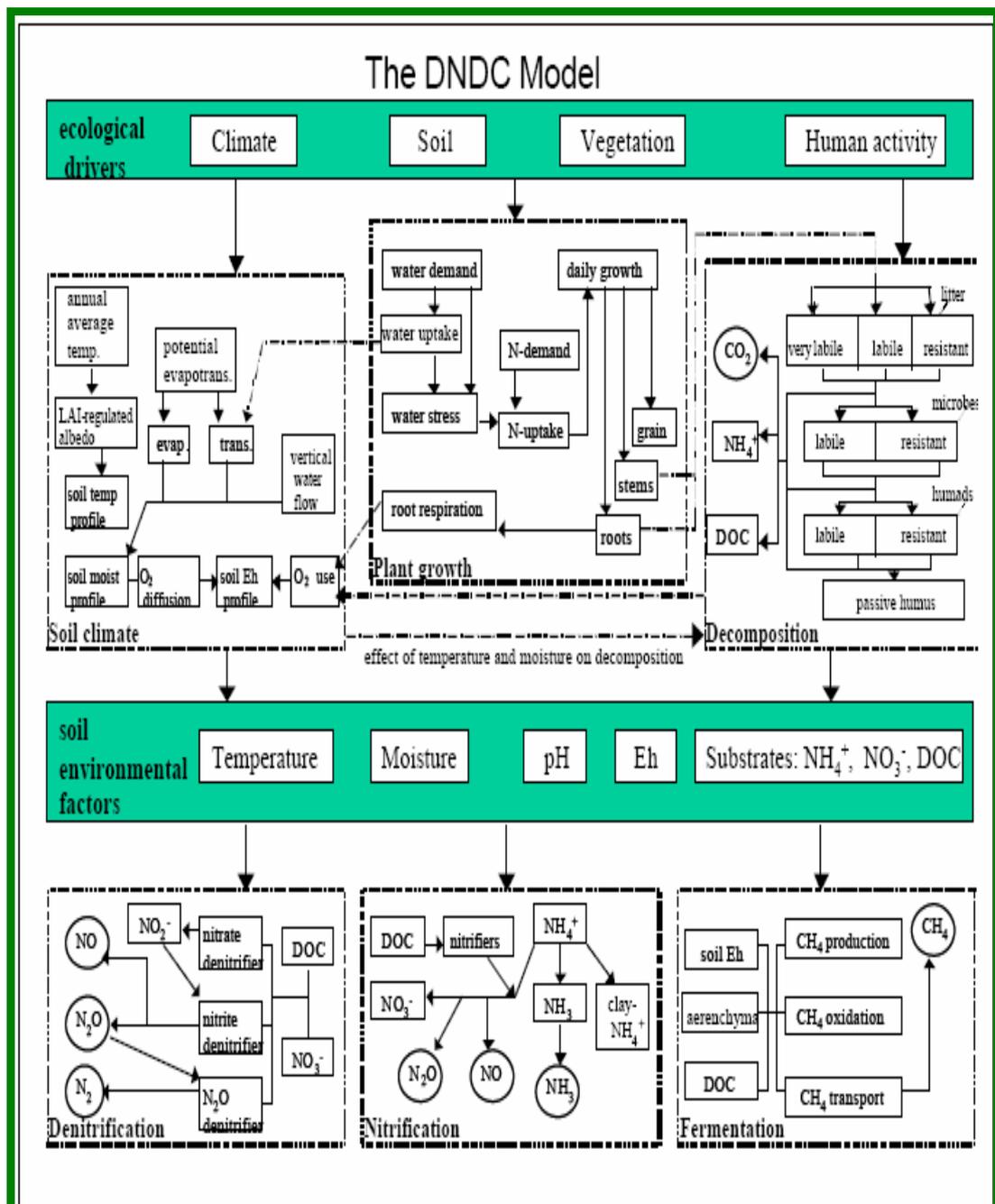
การศึกษาในครั้งนี้ได้นำแบบจำลอง DNDC (the denitrification and decomposition model) version 8.7 มาประกอบการวิเคราะห์หาปริมาณมีเทนในนาข้าวเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งแบบจำลองถูกพัฒนาเริ่มจาก Li *et al.* (1992, 1994) ต่อมา Zhang *et al.* (2002) ได้พัฒนา DNDC สำหรับการเคลื่อนที่ของคาร์บอนในดินรวมทั้งการแพร่กระจายของ CH₄ ในสภาวะเปียก โครงสร้างทั่วไปของแบบจำลองถูกพัฒนามาจากแบบจำลอง PnET-N-DNDC ของ Li (2000) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางชีวเคมีที่ใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของคาร์บอนและไนโตรเจนในระบบนิเวศของป่าและพืชไร่ โดยการพัฒนาจะเน้นไปที่การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ความร้อนในดิน การเจริญเติบโตของพืชและกระบวนการชีวเคมีในดินภายใต้เงื่อนไขแอนแอโรบิก จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่สำคัญในการทำนายระบบคาร์บอนในดินประกอบด้วย อุณหภูมิ ปริมาณน้ำที่หายไป ปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นในดินและการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นแบบจำลอง DNDC จึงประกอบด้วยแบบจำลองย่อยของ ดิน น้ำ พืชและภูมิอากาศนั่นเอง และใน version 8.7 นี้ Li (2003) ได้พัฒนา

แบบจำลองให้ดีขึ้นจากเดิมเพื่อช่วยให้เข้าใจกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างบรรยากาศและวงจทางชีววิทยา รวมทั้งทำนายการแพร่กระจายของสารละลายที่มีธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยพิจารณาจากพื้นที่เกษตรกรรมที่มีน้ำท่วมขังและไม่มีน้ำท่วมขัง

1. โครงสร้างแบบจำลอง DNDC

สำหรับโครงสร้างแบบจำลองนั้น Li (2003) ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกประกอบด้วยแบบจำลองย่อยของ soil climate, crop growth และ decomposition เพื่อการทำนายอุณหภูมิของดิน ความชื้น ค่าความเป็นกรดและด่าง ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) และรูปตัดความเข้มข้นสารในดิน แต่ละส่วนซึ่งเกิดจากการขับเคลื่อนในระบบนิเวศน์ได้แก่จากอากาศ ดิน พืชและกิจกรรมของมนุษย์ เป็นต้น การทำนาย Eh ของดินอยู่ภายใต้เงื่อนไขมีและไม่มีอากาศ ทั้งในพื้นที่ wetland และ upland (Li *et al.*, 1992) โดยที่ Li (2000) ได้ทำการรวม The Nernst Equation ซึ่งเป็นสมการด้านเทอร์โมไดนามิกเบื้องต้น และ the Michaelis – Menten Equations ซึ่งเป็นสมการอธิบายการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จากสารอาหาร (Li *et al.*, 2005) เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง Eh ในดินและกิจกรรมของจุลินทรีย์ Li (2003) สำหรับในส่วนที่ 2 ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยของกระบวนการ nitrification, denitrification และ fermentation เพื่อทำนายการแพร่กระจายของมีเทน (CH₄), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และไนตรัสออกไซด์ (N₂O) สำหรับโครงสร้างของแบบจำลอง DNDC แสดงดังภาพที่ 11

ข้อมูลในแบบจำลอง DNDC ประกอบด้วย soil organic carbon (SOC) มาจาก 4 แหล่งด้วยกันคือ กากตะกอนจากพืชเช่นฟางข้าว, microbial biomass, humads, passive humus ซึ่งแต่ละแหล่งประกอบด้วยแหล่งย่อยๆ ประมาณ 2-3 แหล่งที่มีอัตราการย่อยสลายแตกต่างกันออกไปตามขนาดของแหล่ง ความสามารถในการย่อยสลาย ปริมาณอนุภาคดินเหนียวในดิน ธาตุไนโตรเจน อุณหภูมิ ความชื้นในดิน เมื่อ SOC ในแหล่งใดๆ ถูกย่อยสลาย คาร์บอนก็จะเคลื่อนที่ไปแหล่งอื่นๆ และบางส่วนก็สูญเสียนไปในรูปแบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น Dissolved organic carbon (DOC) จะถูกผลิตอย่างรวดเร็วในระหว่างกระบวนการย่อยสลายและสามารถถูกจุลินทรีย์กินอย่างรวดเร็วเช่นกัน ในทำนองเดียวกันกระบวนการย่อยสลายจะทำให้ไนโตรเจนที่ถูกย่อยสลายบางส่วนเคลื่อนที่ไปสู่แหล่งของสารอินทรีย์อื่นๆและบางส่วนจะเป็นสารประกอบของแอมโมเนีย (NH₄⁺) ซึ่งต่อมาก็จะนำไปสู่กระบวนการ nitrification ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระจะสะสมคูลทั้งในส่วนที่ถูกดินเหนียวดูดซับ (NH₄⁺) และในรูปสารละลายแอมโมเนีย (NH₃) การระเหยของแอมโมเนียสู่บรรยากาศ



ภาพที่ 11 โครงสร้างแบบจำลอง DNDC

ที่มา: Li (2003)

จะถูกควบคุมโดยความเข้มข้นของสารละลายในดินและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมของดิน ขณะเดียวกันเมื่อมีฝนตกลงมาหรือมีการให้น้ำชลประทานจะมีการชะล้าง NO_3^- ไปสู่ชั้นดินที่ลึกกว่าโดยไปกับการไหลของน้ำ ตัวอย่างแบบแผนการเคลื่อนที่ของสารต่างๆ ดังกล่าวหรือ Anaerobic Balloon ในแบบจำลองจะทำนายสถานะของอากาศในดิน โดยการคำนวณการแพร่กระจายของออกซิเจนและการถูกใช้ในหน้าตัดของดิน การทำนายรีดอกซ์โพเทนเชียลจะนำไปสู่การแบ่งชั้นดินเป็นแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกซึ่งจะเป็นที่ก่อให้เกิดกระบวนการ nitrification และ decomposition ตามลำดับ เมื่อ anaerobic balloon พองตัวมากขึ้นสารต่างๆ ได้แก่ DOC , NH_4^+ และ NO ก็จะกระจายไปสู่พื้นที่เล็กๆ ที่ไม่มีอากาศและเกิด denitrification ขึ้น ทำให้ anaerobic balloon เกิดการหดตัวส่งเสริมให้เกิด nitrification ก๊าซต่างๆ จะถูกผลิตขึ้นมาในทั้งสองกระบวนการและมีการเปลี่ยนรูปในการแพร่กระจายระหว่างพื้นที่แบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก

2. สมการของแบบจำลอง DNDC

Zhang and Li (2002) รายงานว่า DNDC ประกอบด้วยระบบหลักๆ ได้แก่ ระบบน้ำ การเคลื่อนที่ของความร้อนในดิน การเจริญเติบโตของพืช และกระบวนการแอนแอโรบิกในดิน ได้แก่ decomposition และ methane emission โดยแต่ละระบบในแบบจำลองจะถูกพิจารณาและมีขั้นตอนในการคำนวณตามสมการต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ระบบน้ำ (hydrology)

แบบจำลองย่อยระบบน้ำซึ่งจำลองระบบน้ำใต้ดินที่ซับซ้อน สารอินทรีย์ในดิน โดยรูปตัดตามยาวของดินถูกแบ่งเป็นชั้นตามคุณลักษณะดินที่แตกต่างกันเช่นสารอินทรีย์ในดิน ชั้นดินแบ่งเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ ชั้นดินไม่อิ่มตัวเหนือระดับน้ำใต้ดินและชั้นดินอิ่มตัว แบบจำลองย่อยน้ำพิจารณาการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ฝน น้ำผิวดิน และผลลัพท์ ได้แก่ การคายน้ำและการระเหยของน้ำ รวมทั้งการเคลื่อนที่ของน้ำในชั้นดินไม่อิ่มตัว

ก. ความชื้นในดินและการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

สำหรับการประมาณค่าความชื้นในดินทั้งสองกลุ่มโดยในชั้นดินไม่อิ่มตัวประมาณค่าจากสมการที่ 7 ส่วนผิวบนของชั้นดินอิ่มตัวซึ่งมีน้ำขังอยู่ ความชื้นในดินประมาณค่าจากสมการที่ 8 ดังนี้คือ

$$\Delta SW_1 \cdot H_1 = F_1 - ES_1 - TP_1 \quad (7)$$

เมื่อ ΔSW_1 = การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินไม่อิ่มตัวชั้น 1 ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

H_1 = ความหนาของชั้นดิน 1 (cm)

F_1 = น้ำสุทธิตี่รั่วซึมและระบายผ่านในแต่ละชั้น 1 ($\text{cm} \text{น้ำ}$)

ES_1 = การใช้น้ำจากชั้นดินไปในกระบวนการระเหย (cm)

TP_1 = การใช้น้ำจากชั้นดินไปในกระบวนการคายน้ำ (cm)

$$SW_{1_0} = FC_{1_0} + (PS_{1_0} - FC_{1_0}) (WT'/H_{1_0}) \quad (8)$$

เมื่อ SW_{1_0} = ความชื้นในดินชั้น 10 ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

PS_{1_0} = ค่าความพรุนของดิน ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

FC_{1_0} = ค่าความชื้นชลประทานในดินชั้น 10 field capacity ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

WT' = ตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดินในชั้นดิน 10 วัดจากระดับต่ำสุดของชั้นดิน 10 (cm)

H_{1_0} = ความหนาของชั้นดิน 10 (cm)

ในส่วนการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในชั้นดินอิ่มตัว ซึ่งรวมน้ำเข้าจากชั้นดินไม่อิ่มตัวโดยผ่านกระบวนการรั่วซึมและการระบายน้ำ การระเหยและการคายน้ำและปริมาณน้ำที่ออกไปจากชั้นดิน โดยคำนวณสมคูลน้ำจากสมการที่ 9-11 ดังต่อไปนี้

$$\Delta WT \cdot \text{Yield} = F_{1_0} - \sum_{i=1_0}^n (ES_i + TP_i) - \text{Outflow} \quad (9)$$

เมื่อ ΔWT = การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน (cm) มีค่าเป็นบวกเมื่อระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น

F_{10} = ความลึกน้ำสุทธิต่เข้ามาสู่ชั้นดินอิ่มตัวโดยมาจากดินชั้นบน (cm)

FC_{10} = ค่าความชื้นชลประทานในดินชั้น 10 (field capacity) ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

$$\text{Yield} = \begin{cases} PS_{10} - SW_{10} (\Delta WT \geq 0) \\ PS_{10} - SW_{10} (\Delta WT < 0) \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{Outflow} = \begin{cases} a_1(WT - D_1) + a_2(WT - D_2) & , (WT > D_1) \\ a_2(WT - D_2) & , (D_2 < WT < D_1) \\ 0 & , (WT < D_2) \end{cases} \quad (11)$$

เมื่อ WT = ตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดินในชั้นดิน 10 วัดจากผิวหน้าดิน (เซนติเมตร) (ค่าเป็นบวกเมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่เหนือผิวดินและในทางกลับกัน)

a_1, a_2 = calibrate พารามิเตอร์ของ outflow

D_1, D_2 = ค่าระดับน้ำใต้ดินวิกฤติ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

ข. ปริมาณน้ำเหนือผิวดินที่เข้ามาและออกไปจากชั้นดิน

ปริมาณน้ำเหนือผิวดินที่เข้ามาและออกไปจากชั้นดินโดยรวมถึงฝน และการไหลของน้ำผิวดิน ใช้สมการ Running and Coughlan (1988) ประมาณค่า plant interception ของฝนตามสมการที่ 12 ส่วน Surface lateral inflow ซึ่งปกติมาจาก surface runoff ของพื้นที่รับน้ำประมาณจากสมการของ (Mitsch and Gosselink, 1993) ตามสมการที่ 13 ดังนี้คือ

$$P_{\text{int}} = \min(P, 0.05LAI) \quad (12)$$

เมื่อ P_{int} = plant interception รายวัน (cm)

P = ปริมาณฝนรายวัน (cm)

LAI = leaf area index

$$S_{in} = (r-1)R_p P \quad (13)$$

เมื่อ S_{in} = surface inflow รายวัน ในพื้นที่เปียก (cm)

P = ปริมาณฝนรายวัน (cm)

r = อัตราส่วนพื้นที่รับน้ำต่อพื้นที่เปียก

R_p = hydrologic response coefficient ซึ่งจะเป็นสัดส่วนของฝนในพื้นที่รับน้ำที่กระจายโดยตรงไปเป็น surface runoff

การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration, ET_p) ใช้สมการ (Priestley and Taylor, 1972; Ritchie *et al.*, 1988) ทั้งนี้เพราะต้องการเฉพาะค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ รายวันเป็นข้อมูลภูมิอากาศที่นำเข้าไป ค่า ET_p แยกออกเป็นการคายน้ำของพืช (potential plant transpiration, TP_p) และการระเหยจากดิน (potential soil evaporation, ES_p) โดยประมาณจากสมการที่ 14-16 ดังนี้คือ

$$ES_p = \begin{cases} ET_p(1-0.40LAI) & (LAI < 1) \\ ET_p \exp(-0.40LAI) & (LAI \geq 1) \end{cases} \quad (14)$$

$$TP_p = ET_p - ES_p \quad (15)$$

ค่า TP_p และ ES_p มีหน่วยเป็น $cm \ day^{-1}$ และสำหรับค่า TP ที่แท้จริงในชั้นดินหา จากความต้องการน้ำ (potential demand) และอัตราการดึงน้ำของรากพืช (root uptake rate) ดังนี้

$$TP_1 = R_{max} RLD_1 f_{ET_1, H_1} \quad (16)$$

เมื่อ TP_1 = ค่า water uptake rate จากชั้นดิน 1

R_{max} = ค่า maximum water uptake rate ต่อหน่วยความยาวรากในดิน 1 ลบ.ซม.
(cm water day⁻¹ cm⁻¹ root cm⁻³ soil)

RLD_1 = root length density ในชั้นดิน 1 (cm root cm⁻³ soil) ทำการแปลงค่ามาจาก root biomass โดยใช้ความยาวรากจำเพาะที่ 2.1 cm mg⁻¹

H_1 = ความหนาชั้นดิน 1 (cm)

$f_{ET,1}$ = scalar มีค่าคงที่จาก 0-1 ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของความชื้นในดินที่มีต่อการคายและระเหยของน้ำโดยค่าจากสมการที่ 17

$$f_{ET,1} = \begin{cases} 0 & , & (T_1 < 0 \text{ or } SW_1 < WP_1) \\ (SW_1 - WP_1)/(FC_1 - WP_1) & , & (WP_1 \leq SW_1 < FC_1) \\ 1 & , & (SW_1 \geq FC_1) \end{cases} \quad (17)$$

เมื่อ WP_1 = ปริมาณความชื้นในดิน (cm³ cm⁻³)

2.2 การเคลื่อนที่ของความร้อนในดิน (soil thermal dynamics)

แบบจำลองย่อยของอุณหภูมิในดิน (soil temperature submodel) จะคำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในแต่ละชั้นดินโดยใช้สมการ the one-dimension heat conduction equation ตามสมการที่ 18 ดังนี้คือ

$$c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (18)$$

เมื่อ C = ค่าความจุความร้อน (heat capacity) มีหน่วยเป็น J cm⁻³ °C⁻¹

T = อุณหภูมิของดิน (°C)

t = เวลา (วินาที)

λ = ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) หน่วยเป็น (W cm⁻¹ °C⁻¹)

Z = ความลึกของชั้นดิน (cm.)

เงื่อนไขของน้ำในดินและปริมาณสารอินทรีย์มีผลกระทบต่ออุณหภูมิในดินทั้งนี้ เพราะมีอิทธิพลต่อค่า C และ λ ตามสมการที่ 19 และ 20

$$C = \sum_{i=1}^5 f_i C_i \quad (19)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^5 f_i \lambda_i \quad (20)$$

เมื่อ f_i = สัดส่วนขององค์ประกอบดินที่ i เช่น น้ำ สารอินทรีย์และอากาศเป็นต้น

C_i = ค่าความจุความร้อนขององค์ประกอบที่ i มีหน่วยเป็น $J \text{ cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

λ_i = ค่าการนำความร้อนขององค์ประกอบที่ i หน่วยเป็น $W \text{ cm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

อุณหภูมิที่ขอบบนและล่างของแต่ละชั้นดินประมาณค่าจากอุณหภูมิอากาศรายวันตามสมการที่ 21 และ 22 ตามลำดับ

$$T_0 = \begin{cases} T'_0 + 0.25(T_m - T_0) \exp(-KLAI) & (T_m \geq T'_0) \\ T'_0 + 0.25(T_m - T'_0) & (T_m < T'_0) \end{cases} \quad (21)$$

เมื่อ T_0, T' = อุณหภูมิที่ขอบเขตบนของชั้นดินวันปัจจุบันและวันก่อนหน้า

ตามลำดับ

T_m = อุณหภูมิอากาศวันปัจจุบัน

LAI = leaf area index

K = light extinction coefficient

$$T_{Z_0} = T_{aa} + \exp(-Z_0/D) T_{am} \cos[2\pi(JD - JD_0) - 365 - Z_0/D] \quad (22)$$

เมื่อ T_{Z_0} = อุณหภูมิที่ขอบเขตล่างของชั้นดินที่ความลึก Z_0 ตาม julian day (JD)

T_{aa}, T_{am} = ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและค่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศตามลำดับ

JD, JD_0 = julian day และ julian day ที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด

D = damping depth ซึ่งประมาณค่าจากสมการที่ 23

$$D = [365 \times 864 \lambda_m / (\pi C_m)]^{0.5} \quad (23)$$

เมื่อ C_m = ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยของรูปตัดดินมีหน่วยเป็น $J \text{ cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

λ_m = ค่าการนำความร้อนเฉลี่ยของรูปตัดดินมีหน่วยเป็น $W \text{ cm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

2.3 กระบวนการแอนแอโรบิก (anarobic process)

ก. Redox potential

Redox potential เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการบ่งชี้สภาวะแอนแอโรบิกในชั้นดินซึ่งอยู่ใกล้หรืออยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน หรือในสภาพที่ระดับน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงสม่ำเสมอรวมทั้งภายในดินที่มีสภาพน้ำท่วมขังในแบบจำลอง DNDC ได้ใช้สมการของ Fiedler and Sommer (2000) ประมาณค่า Eh จากสมการที่ 24

$$\Delta E_{h_1} = \begin{cases} CR(A_1 - 1) & (l < l_0) \\ CR(A_1 + 1 - wfps_1) & (l \geq l_0) \end{cases} \quad (24)$$

เมื่อ E_{h_1} = การเปลี่ยนแปลงค่า Eh รายวันในชั้นดิน 1 ($mV \text{ day}^{-1}$)

CR = อัตราการเปลี่ยนแปลง ($mV \text{ day}^{-1}$)

A_1 = aerenchyma factor ของแต่ละชั้น

$Wfps_1$ = สัดส่วนน้ำที่เติมเข้าไปในช่องว่างเมื่อระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าค่าขอบเขตบนของชั้นดิน

ค่า A_1 คัดจากการแพร่กระจายของก๊าซผ่านดินพืชโดยใช้สมการที่ 25

$$A_1 = FRD \cdot P_A \cdot RLD_1 \quad (25)$$

เมื่อ $FRD =$ พื้นที่ตัดขวางของรากพืช (cm^2) ค่ามาตรฐานประมาณ $0.0013 cm^2$
 $P_A =$ ค่าคงที่สำหรับการแพร่กระจายก๊าซจากรากสู่บรรยากาศมีค่า 0-1
 $RLD_1 =$ ความยาวรากต่อปริมาตรชั้นดิน ($cm root cm^{-3} soil$)

จากการทดลองของ Barber and Silberbush (1984) ได้เสนอให้ใช้ค่า P_A เท่ากับ 0 - 1 ทั้งนี้กรณีพืชเจริญเติบโตมีการพัฒนาช่องว่างภายในลำต้นได้ดีเช่นหญ้าใช้ค่า 1 พืชที่ไม่มี vascular ถือว่าไม่มีการลำเลียงก๊าซผ่านลำต้นพืช ดังนั้นใช้ $P_A=0$ นอกจากนั้นใช้ค่าประมาณ 0.5

ข. Decomposition (การสลายตัวเน่าเปื่อย)

เมื่อดินอยู่ภายใต้เงื่อนไขแอนแอโรบิก การสลายตัวของสารจะเกิดช้าโดยเมื่อเปรียบเทียบกับในเงื่อนไขแอโรบิก พบว่ามีอัตราส่วนการสลายตัวเท่ากับ 1: 2.5-1.6 (Moore and Dalva, 1997), 1:1.5-3 (Bridgham and Richardson, 1978) จากผลต่างๆ ในแบบจำลองได้ใช้สมการเพื่อหาค่าผลกระทบจากแอนแอโรบิกต่อการสลายตัวสำหรับชั้นดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ดังสมการที่ 26 ดังนี้

$$f_{dec} = 0.2 + 0.05 \exp[Eh/250] \quad (26)$$

เมื่อ $f_{dec} =$ ผลของแอนแอโรบิกต่อการสลายตัวในชั้นดิน

สำหรับชั้นดินที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน f_{dec} จะถูกหาจากปริมาณความชื้นในดิน

ค. การผลิตมีเทน ปฏิกิริยาออกซิเดชันและการแพร่กระจายของมีเทน

การจำลองค่ามีเทนที่เกิดขึ้น ค่าออกซิเดชันและการแพร่กระจายในพื้นที่เปียกได้มีการเชื่อมโยงกับแบบจำลอง a processed-based CH_4 ของ (Walter and Heiman, 2000) ซึ่งประกอบด้วยค่าความร้อนของดิน ใญ่หน้า Eh การสลายตัวและการเจริญเติบโตของพืช การเปลี่ยนแปลงของมีเทนในแต่ละชั้นดินมีดังสมการ 27

$$\Delta M = M_{PRD} - M_{OXD} - M_{DFS} - M_{EBL} - M_{PLT} \quad (27)$$

เมื่อ M_{PRD} = อัตราการผลิตมีเทน ($\text{kg C ha}^{-1}\text{day}^{-1}$)
 M_{OXD} = อัตราการเกิดออกซิเดชัน
 M_{DFS} = การแพร่กระจายของมีเทนระหว่างชั้นดินหรือไปสู่บรรยากาศ
 BM_{EBL} = การแพร่กระจายของมีเทนผ่านกระบวนการ ebullition
 M_{PLT} = การแพร่กระจายของมีเทนผ่านลำต้นพืช

การเกิดมีเทนจะเกิดขึ้นในชั้นดินถ้าในดินมีสารตั้งต้นเพียงพอรวมทั้งสิ่งแวดล้อมของดินมีสภาวะที่เหมาะสม ทำการประมาณค่ามีเทนในแต่ละชั้นดินตามวิธีของ (Cao *et al.*, 1996) และ (Walter and Heiman, 2000) แต่พิจารณาในส่วนของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลชัดเจน ดังสมการ 28

$$M_{PRD} = C_M f_{T,MP} f_{pH} f_{Eh,MP} \quad (28)$$

เมื่อ C_M = ปริมาณสารคาร์บอนตั้งต้นที่สามารถใช้ในการผลิตมีเทนอาจมาจากการสลายตัวของดินหรือระบบราก

f_{pH} = อิทธิพลของค่า pH ที่มีต่อการผลิตมีเทน

$f_{T,MP}$ = อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการผลิตมีเทน

$f_{Eh,MP}$ = อิทธิพลของ Eh ที่มีต่อการผลิตมีเทน

ทั้งนี้ปริมาณคาร์บอนตั้งต้นที่มาจากรากมีค่าประมาณ 45% ของสารคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการหายใจและลำเลียงมาสู่ราก การศึกษาอิทธิพลของ pH ได้มาจากวิธีของ (Cao *et al.*, 1995) แต่ใช้ค่า pH ต่ำสุดเท่ากับ 4 แทนที่จะเป็น 5.5 ทั้งนี้เพราะว่าจากการทดลองในช่วง pH ต่ำกว่า 5.5 ก็ยังมีการผลิตมีเทนเกิดขึ้น จากการวัดและรายงานต่างๆ พบว่ามีเทนจะเกิดในช่วงที่มีค่า Eh ต่ำ ดังนั้นในแบบจำลองนี้ได้ใช้ค่า Eh เท่ากับ -200 ถึง -100 mv สำหรับค่าออกซิเดชันของมีเทนถูกควบคุมโดยความเข้มข้นของมีเทน ค่า Eh และอุณหภูมิ การออกซิไดซ์ของมีเทน ในชั้นดินประมาณค่าได้จากสมการ 29

$$M_{OXD} = M f_M f_{T,MO} f_{Eh,MO} \quad (29)$$

เมื่อ M = ปริมาณมีเทนในชั้นดิน (kg C/Ha/day)
 F_M = อิทธิพลจากความเข้มข้นของมีเทน
 $f_{T,MO}$ = อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อออกซิเดชัน
 $f_{Eh,MO}$ = อิทธิพลของ Eh ที่มีออกซิเดชัน

อิทธิพลจากความเข้มข้นของมีเทนในชั้นดินมีค่าดังสมการ 30

$$f_M = M_C / (K_m + M_C) \quad (30)$$

เมื่อ M_C = ความเข้มข้นของมีเทนในชั้นดิน
 K_M = ค่าคงที่ประมาณ 5 ไมโคร โมลต่อลิตร

มีเทนในแต่ละชั้นดินสามารถแพร่กระจายไปสู่บรรยากาศผ่านการ ebullition และช่องว่างในลำต้นข้าว การ ebullition จะถูกพิจารณาเมื่อความเข้มข้นมีเทนในดินมีมากกว่า $750 \mu\text{mol l}^{-1}$ (Walter and Heiman, 2000) สำหรับการลำเลียงก๊าซผ่านต้นพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยของช่องว่างในพืช ประมาณค่าดังสมการ 31

$$M_{PLT} = MA_1(1 - P_{OX}) \quad (31)$$

เมื่อ M_{PLT} = การลำเลียงก๊าซมีเทนจากชั้นดินผ่านต้นพืช
 M = ปริมาณมีเทนที่ผลิตขึ้นทั้งหมด
 A_1 = Plant arenchyma factor
 P_{OX} = สัดส่วนของ CH_4 oxidized ระหว่างการลำเลียงผ่านต้นพืช

3. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง DNDC

ได้มีการนำแบบจำลอง DNDC ไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในสถานที่ต่างๆ ทั่วโลก ได้แก่ Babu *et al.* (2005) ได้ศึกษาการแพร่กระจายของมีเทนในนาข้าวในประเทศอินเดีย โดยนำแบบจำลอง DNDC ไป calibrate ค่าพารามิเตอร์จากและนำไปใช้กับข้อมูลการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังพบว่าค่าผลผลิตข้าว การตรึงไนโตรเจน ตลอดจนการแพร่กระจายของมีเทนจากแบบจำลองและจากข้อมูลจริงให้ผลที่ใกล้เคียง แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่

ระหว่างแบบจำลองและข้อมูลของการแพร่กระจายของมีเทนในพื้นที่ซึ่งถูกวัดจาก manual chamber การทดสอบค่า sensitivity พบว่า soil texture และค่า pH ในดินมีความสำคัญมากต่อการเกิดมีเทน การเปลี่ยนแปลง organic C content มีผลปานกลาง การเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลเหนือดินสู่พื้นดินมีผลน้อยมากในการ simulate ช่วงสั้นๆ การเพิ่มช่วงเวลาให้ดินมีอากาศมากขึ้นในช่วง การเพาะปลูกเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะสามารถลดมีเทนได้เช่นเดียวกันกับการใส่ปุ๋ยที่มีซัลเฟต โดยสรุปแบบจำลองสามารถใช้ได้เป็นอย่างดีกับการหาการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกและ การทำนายแนวโน้มของผลผลิตตลอดจนศึกษาผลกระทบของ climate change

ขณะที่ Qiu *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาสมมูลและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ SOC (soil organic content) ภายใต้ระบบการปลูกพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของจีน เพื่อใช้ในการวางแผนรักษาสมมูลของ SOC โดยการใช้แบบจำลอง DNDC ในการทำนายการเคลื่อนที่ของ SOC ภายใต้ระบบเกษตรกรรมในระดับภูมิภาคผลปรากฏว่า SOC ที่สะสมอยู่ในดินที่ทำการเกษตรกรรม ทั้งหมดในจังหวัด Liaoning Heilongjiang และ Jilin มีค่าประมาณ 1243.48 ตันที่ระดับหน้าดิน 30 เซนติเมตรหรือประมาณ 16.1, 58.4 และ 25.5 % ตามลำดับ โดยที่ภายใต้ระบบการปลูกพืช ในปัจจุบัน การสมมูลของ SOC เสียไปจากการที่มีการสูญเสียคาร์บอนในอัตราที่สูง นอกจากนี้ กระบวนการเพาะปลูกได้แก่การใส่ปุ๋ยธรรมชาติ การนำฟางหรือซากพืชกลับคืนสู่ดิน ไม่มีการไถจะเป็นประโยชน์สำหรับการสะสม SOC ในพื้นที่ รวมทั้งการทดลองของ Cai *et al.* (2003) ที่นำได้ เสนอ Field Validation of the DNDC Model for Greenhouse Gas Emissions in East Asian Cropping Systems โดยทำการ validate แบบจำลอง DNDC กับข้อมูลการแพร่กระจายของก๊าซ มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO) จากการปลูกพืชในประเทศญี่ปุ่น จีนและไทย ผลการสอบเทียบพบว่าการกระจายของ N_2O ในดินที่ลุ่มในญี่ปุ่นปี 2538 - 2543 และการแพร่กระจายมีเทนจากนาข้าวในจีนให้ผลที่ดี ส่วนการแพร่กระจาย N_2O และ NO จาก Andisol ในญี่ปุ่นและ NO จากที่ลุ่มญี่ปุ่นให้ผลได้ไม่น่าพอใจ ทั้งนี้เพราะเงื่อนไขของดินที่พื้นที่ต่างๆ และ พันธุ์ข้าวมีความหลากหลายมาก อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับลักษณะดินและการจัดการที่ใกล้เคียงกันจะสามารถทำให้ DNDC เป็นเครื่องมือที่ดีในการทำนายการแพร่กระจายของก๊าซต่างๆ ดังกล่าว

สำหรับ Li *et al.* (2002) ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณมีเทนจากการจัดการน้ำในนาข้าว ในพื้นที่ขนาดในประเทศจีนระหว่างปี 2523 - 2543 โดยการใช้แบบจำลอง DNDC ในการทำนาย ปริมาณมีเทนในนาข้าวพบว่าการระบายน้ำในระหว่างฤดูการเพาะปลูกจะสามารถลดปริมาณมีเทนได้

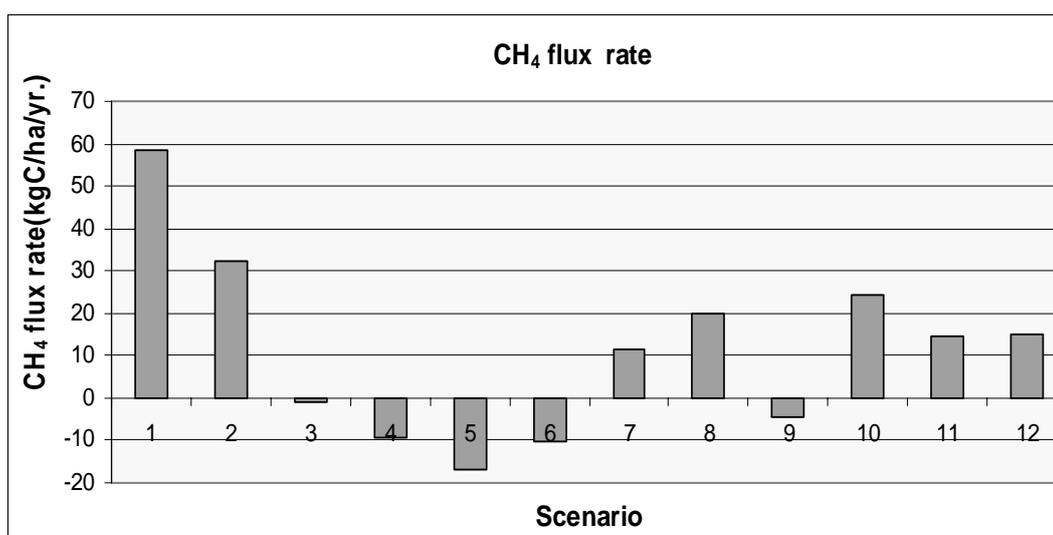
เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีน้ำท่วมขังในระดับลุ่มน้ำได้ประมาณ 5 Tg yr⁻¹ ส่วนการทดลองของ Farahbakhshzad *et al.* (2002) ได้สรุปว่าสามารถนำแบบจำลอง DNDC ไปประยุกต์ใช้เพื่อการวางแผนและแนะนำการเพาะปลูก การตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำ การทำนายผลผลิตและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งข้อมูลได้จากการปลูกพืชในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าผลผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัยของตำแหน่งภูมิประเทศ ภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่อย่างไรก็ตามการทำนายผลผลิตที่ดีควรจะพิจารณา SOC ที่หน้าดินประมาณ 30 เซนติเมตร

อนึ่ง Xue (2001) ได้นำแบบจำลอง DNDC ไปใช้ประมาณค่า CH₄ และ N₂O ที่แพร่กระจายจากพื้นที่เกษตรกรรมในสามเหลี่ยมลุ่มน้ำแยงซีประเทศจีนที่ซึ่งเป็นแหล่งปลูกพืชแหล่งใหญ่พบว่าแบบจำลองมีความเหมาะสม เช่นเดียวกับ Smith *et al.* (2002) ได้นำแบบจำลอง DNDC ไปใช้หาค่าก๊าซจากพื้นที่ทดลอง 2 แหล่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกของประเทศแคนาดาโดยใช้ 7 ดำรับการทดลองพบว่ามีความถูกต้องสูง รวมทั้ง Cui *et al.* (2005) ได้ทำการต่อเชื่อมโปรแกรม MIKE SHE เข้ากับ Wetland – DNDC เพื่อจำลองทางชีวเคมีในดินที่ไม่มีออกซิเจนและสมดุลของคาร์บอนในดิน โดยการ simulate ผลของระดับน้ำใต้ดินและการจัดการพืชที่มีต่อการแพร่กระจายของก๊าซและการเคลื่อนที่ของคาร์บอนและพบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินมีผลมากต่อการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน

รวมทั้ง Li *et al.* (2006) ได้นำแบบจำลอง DNDC วิเคราะห์หาทางเลือกในการจัดการนาข้าวใน 21 ปีข้างหน้าจากข้อมูล 2500 เมืองในประเทศจีน ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีการระบายน้ำระหว่างฤดูทำให้ลดมีเทนได้ 20-60% ในช่วงปี 2543-2563 นอกจากนี้ อัจฉรา และ บัญญา (2549) ได้ศึกษาการเกิดมีเทนจากแบบจำลอง DNDC โดยมีการจัดการน้ำท่วมขังในแปลงนาต่างกัน และระยะเวลาที่น้ำท่วมขังต่างกัน ใน 12 scenario ต่างๆ พบว่าการจัดการน้ำที่ต่างกันทำให้เกิดมีเทนต่างกันแสดงดังภาพที่ 12 โดยเมื่อมีการให้น้ำแบบท่วมขังตลอดเวลาในทุกช่วงการเพาะปลูกจะให้ค่ามีเทนสูงสุดในขณะที่มีการท่วมขังและระยะเวลาในการท่วมขังน้อยกว่าจะทำให้ปริมาณมีเทนน้อยลง อย่างไรก็ตามการให้น้ำแบบที่ 3, 9, 4, 5 และ 6 มีค่าติดลบ ทั้งนี้เพราะข้อมูลที่ใส่เข้าไปทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาและไม่ก่อให้เกิดมีเทนโดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ scenario ต่างๆ มีค่าเท่ากับ 21 ดังนั้นกล่าวได้ว่าการจัดการน้ำมีผลต่อการเกิดมีเทน นอกจากนี้เมื่อนำผลลัพธ์ของ scenario ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นชนิดดินต่างๆ ได้แก่ clay, silty clay และ sandy clay loam รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ 6, 7, 8 มาเปรียบเทียบกัน และทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเมื่อมีการจัดการน้ำต่างกัน ดินชนิดเดียวกันคือ clay มีค่า pH 6, 7, 8 ให้ค่ามีเทนที่

เกิดขึ้นมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15, 21 และ 27 ตามลำดับ และเมื่อดินมีค่า pH 7 เหมือนกัน แต่เปลี่ยนชนิดดินคือ silty clay, sandy clay loam และ clay ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการจัดการน้ำ ต่างกันเท่ากับ 10, 0.9 และ 21 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อดินมีสภาพเป็นกรดมากขึ้นแนวโน้มการเกิดมีเทนจะน้อยลงและที่ pH เดียวกันแต่ลักษณะดินต่างกันจะให้ค่ามีเทนที่แตกต่างกันมาก โดยดินบางชนิดอาจจะไม่ก่อให้เกิดมีเทนในบางกรณี

ดังนั้นสรุปจากการวิเคราะห์แบบจำลองพบว่านอกจากการจัดการน้ำแล้วปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ soil texture และค่า pH ในดินมีความสำคัญมากต่อการเกิดมีเทนโดยดินเป็นกรดจะให้ปริมาณมีเทนน้อยกว่า การเปลี่ยนแปลง organic C content มีผลปานกลางส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลเหนือดินสู่พื้นดินมีผลน้อยมากในการ simulate ช่วงสั้นๆ การเพิ่มช่วงเวลาให้ดินมีอากาศมากขึ้นในช่วงการเพาะปลูกเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะสามารถลดมีเทนได้แต่ทั้งนี้การจัดการให้น้ำที่จะเลือกเป็นตัวแทนนอกจากจะดูว่าทำให้มีเทนน้อยลงก็ต้องพิจารณาความเหมาะสมด้านอื่นด้วย เช่น การเจริญเติบโตของพืช ปริมาณน้ำที่ใช้ ความยากง่ายในการจัดการ เป็นต้น นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปประยุกต์เพื่อออกแบบทดลองการจัดการน้ำในพื้นที่จริงในส่วนของระดับน้ำ เวลาในการให้น้ำท่วมขัง เป็นต้น นอกจากนี้การที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดดิน, soil texture และค่า pH มีผลต่อการเกิดมีเทนค่อนข้างมาก ดังนั้นในการที่ศึกษาการลดปริมาณมีเทนในแปลงนาเปรียบเทียบกันควรจะมีการควบคุมในส่วนนี้ให้ใกล้เคียงกันและดินบางชนิดบางกรณีไม่ก่อให้เกิดมีเทนควรหลีกเลี่ยงการทดลองเพราะไม่สามารถเก็บข้อมูลได้



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบการเกิดมีเทนที่ scenario ต่างๆ ของการให้น้ำโดยให้ pH=7

การจัดการน้ำชลประทานและคุณภาพน้ำ

1. การนำสารละลายสู่แหล่งน้ำ

การปลูกข้าวมีอิทธิพลต่อคุณภาพของแหล่งน้ำในพื้นที่รับน้ำใกล้เคียง (Wu *et al.*, 2001) และ Yoon *et al.* (2003) รายงานว่ากิจกรรมทางด้านการเกษตรทำให้เกิดการนำสารละลายสู่แหล่งน้ำ และควรมีการตระหนักในด้านการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับข้าวเพื่อเป็นการส่งเสริมให้ลดปริมาณการสูญเสียปุ๋ยจากนาข้าว ในขณะที่ Kawara (1996) พบว่าสารละลายจากนาข้าวเป็นตัวการสำคัญในการก่อมลพิษในอ่างเก็บน้ำ รวมทั้ง Ghosh and Bhat (1998) กล่าวว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโตรเจนจากนาข้าวซึ่งเป็นสาเหตุของมลพิษในน้ำ อาจทำให้สัตว์น้ำเสียชีวิตได้ และการทดลองของ Zhou and Zhu (2003) ยังพบว่าฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารสำคัญอีกตัวหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อคุณภาพน้ำ ดังนั้นการจัดการน้ำในนาข้าวโดยทั่วไปที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลาจะมีผลต่อคุณภาพน้ำทั้งนี้เพราะในการทำนามีการใส่ปุ๋ยต่างๆลงไปเพื่อช่วยให้ข้าวเจริญเติบโตนั่นเอง อำนาจ (2547) สรุปว่าทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์เมื่อใส่ลงในดินให้แก่พืชแล้วอาจจะก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำได้ 2 ทางคือการทำให้แม่น้ำลำคลองเน่าเสียเนื่องจากการเพิ่มธาตุอาหารในน้ำและการชะล้างไนเตรทลงสู่ลำน้ำใต้ดินดังนี้คือ

1.1 การทำให้น้ำในแหล่งน้ำเน่าเสียได้หากมีการนำพาธาตุอาหารพืชลงสู่แหล่งน้ำมากเกินไป ทำให้สาหร่ายขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (phytoplankton) และพืชน้ำซึ่งเจริญเติบโตได้โดยการสังเคราะห์แสงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วเมื่อมีแสงเพียงพอ ต่อมาเมื่อเพิ่มจำนวนมากถึงระดับหนึ่งจะทำให้น้ำขุ่นมาก ทำให้แสงผ่านได้ไม่เพียงพอแก่การสังเคราะห์แสง นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนดังกล่าวทำให้มีความต้องการออกซิเจนในการหายใจมากขึ้น ส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอต่อการหายใจทำให้สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นตายและเน่าเปื่อยทำให้น้ำเสีย

1.2 เมื่อใส่ปุ๋ยลงในดินโดยไม่มีการจัดการที่ดีจะทำให้น้ำนำธาตุอาหารในโตรเจนจากดินและปุ๋ยลงสู่แหล่งน้ำได้โดยน้ำไหลบ่าบนผิวดินและซึมผ่านเนื้อดิน นำเอาในโตรเจนในรูปแร่ธาตุซึ่งส่วนมากเป็นในโตรเจนในรูปไนเตรทและในรูปสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและจากการที่กระแสน้ำไหลกร่อนดินหรือชะล้างพังทลายดินพาเนื้อดินพร้อมกับในโตรเจนในดินไปสู่แหล่งน้ำ สำหรับการที่น้ำนำธาตุอาหารฟอสฟอรัสจากดินและปุ๋ยลงสู่แหล่งน้ำได้ 2 วิธีเช่นเดียวกับกับการนำในโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ

สาเหตุการชะล้างไนเตรทสูงทั้งนี้เนื่องจากไนเตรทเป็นอนุมูลเคมีที่มีประจุลบจึงถูกดินดูดซับไว้ได้น้อยและไม่เหนียวแน่นเพราะดินมักจะมีประจุบวกอยู่น้อย ทำให้ไนเตรทในดินเป็นอิสระและสามารถเคลื่อนที่ไปกับน้ำได้ง่าย ในดินเนื้อหยาบจะอุ้มน้ำได้น้อยมีการซึมน้ำเร็ว มีการชะล้างดินมากกว่าดินเนื้อละเอียด ดังนั้นการดูดซับไนเตรทในดินเนื้อหยาบจึงน้อยกว่า ปุ๋ยที่อาจก่อให้เกิดปัญหาการชะล้างไนเตรทลงสู่ดินได้แก่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ปุ๋ยเคมีที่ให้ไนโตรเจนอาจมีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไนเตรท และรูปอื่นๆ ที่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมได้ หลังจากใส่ลงไปไนดิน แอมโมเนียมจากปุ๋ยเมื่ออยู่ในดินที่มีออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท แต่หากดินไม่มีออกซิเจน แอมโมเนียมจากปุ๋ยจะคงรูปไม่เปลี่ยนเป็นไนเตรท ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนอยู่เสมอและมีไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่พืชนำไปใช้ไม่ได้เมื่อใส่ในดินจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายทำให้ปุ๋ยถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม ต่อมาแอมโมเนียมถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วหากดินมีออกซิเจน ดังนั้นไม่ว่าจะให้ปุ๋ยเคมีที่ให้ไนโตรเจนหรือปุ๋ยอินทรีย์ หากใส่ในดินที่อยู่ในสภาพน้ำไม่ขังจะทำให้ไนเตรทเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการชะล้างไนเตรทลงสู่หน้าใต้ดินได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไนเตรทจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยจุลินทรีย์ในสภาพที่ขาดออกซิเจนเช่นกัน สมการการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน ได้แก่ ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

2. การสะสมไนเตรทในพืช

ส่วนใหญ่พืชดูดไนโตรเจนจากดินในรูปของแอมโมเนียมและไนรูปไนเตรท จากรายงานของทัศนีย์ (2543) พบว่าข้าวจะดูดไนโตรเจนจากดินไปประมาณสูงถึง 70% ในสภาพน้ำขังเช่นดินน่าน้ำขัง ไนโตรเจนที่พืชดูดส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอมโมเนียมเพราะดินขาดออกซิเจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นสารไนเตรท ส่วนสภาพดินที่ไม่มีน้ำขังพืชดูดจากดินส่วนใหญ่จะเป็นไนโตรเจนไนรูปไนเตรททั้งนี้เพราะในดินมีออกซิเจนทำให้จุลินทรีย์เปลี่ยนรูปแอมโมเนียมเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วเมื่อมีแอมโมเนียมเกิดขึ้นในดิน

ปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการสะสมไนเตรทในพืช หากสภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชในโตรเจนที่พืชดูดเข้าไปซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไนรูปของกรดอะมิโนซึ่งพืชใช้ในการเจริญเติบโต แต่หากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมไนโตรเจนที่พืชดูดไปจะไม่ถูกเปลี่ยนรูป ดังนั้นพืชจะมีการสะสมไนเตรทหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับอัตราการดูดไนโตรเจนไนรูปไนเตรทและอัตราการใช้ในโตรทในการสร้างกรดอะมิโน อย่างไรก็ตามอัตราการสร้างกรดอะมิโนในพืชเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นปัจจัยที่มี

ผลต่อการสะสมไนเตรทในพืชจึงมีอยู่สองกลุ่ม โดยให้ผลต่อการสะสมไนเตรทตรงข้ามกันคือกลุ่มปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไนเตรทในดินและกลุ่มปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างกรดอะมิโนในพืชดังนี้คือ

2.1 ปัจจัยที่ส่งเสริมให้มีไนเตรทในดินปริมาณสูง คือ ปริมาณไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารในดินและปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงในดิน ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอินทรีย์สารหรืออินทรีย์วัตถุในดินเป็นแหล่งสำรองที่สำคัญของไนโตรเจนในดิน หากดินยังมีความชื้นแม้ว่าจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่พืชเริ่มเหี่ยวเฉาถาวร ไนโตรเจนก็จะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมได้โดยจุลินทรีย์ในดินไม่ว่าจะมีออกซิเจนหรือไม่ก็ตาม ต่อมาแอมโมเนียมจะเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วเมื่อดินมีออกซิเจน ซึ่งไนโตรเจนทั้งสองรูปนี้เป็นรูปที่พืชดูดไปใช้ได้ และสูญเสียไปได้โดยน้ำชะล้างและวิธีอื่นๆ แต่ไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารจะไม่สูญเสียไปจากดิน ดังนั้นดินที่มีแนวโน้มที่จะมีไนเตรทสูงคือดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงและดินที่ได้รับปุ๋ยที่ให้นิโตรเจนสูงซึ่งอาจเป็นปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยชีวภาพก็ได้

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ไนเตรทในการสร้างกรดอะมิโนในพืช ได้แก่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งมีทั้งปัจจัยที่เกี่ยวกับพันธุกรรม ปัจจัยของสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ แสงสว่าง ส่วนประกอบของอากาศรอบพืช โครงสร้างดินและส่วนประกอบอากาศในดิน ปฏิกริยาในดิน ชีวปัจจัย ธาตุอาหารและสิ่งที่เป็นพิษต่อพืช เป็นต้น

ในด้านปัจจัยเกี่ยวกับดิน โครงสร้างดินมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืชทางตรง ได้แก่ ผลต่อการงอกขึ้นเหนือผิวดินของต้นกล้าของพืชและผลต่อการชอนไชไปในดินเพื่อหาอาหารและน้ำ ผลทางอ้อมได้แก่ผลต่อการถ่ายเทอากาศของดิน ดินที่มีโครงสร้างไม่มีความแน่นที่บ่งชี้จะมีช่องอากาศน้อย การส่งถ่ายอากาศไม่ดี ขาดออกซิเจน มีการสะสมก๊าซและสารที่เป็นพิษต่อรากพืช

ส่วนของปฏิกริยาในดินซึ่งหมายถึงความเป็นกรดและด่างของดินจะมีผลต่อพืชทางอ้อมคือมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชซึ่งรวมถึงการละลายของธาตุอาหารและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเช่นดินที่ปฏิกริยาในดินในช่วงที่เป็นกรดอย่างอ่อนหรือด่างอย่างอ่อนจะทำให้จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุทำงานได้ดีที่สุดทำให้ธาตุอาหารถูกปลดปล่อยจากรูปที่พืชดึงดูดไม่ได้เป็นรูปที่พืชดึงดูดได้ นอกจากนี้มีผลต่อการเกิดสารที่เป็นพิษต่อพืชในดิน และผลต่อการระบาดของโรคพืชบางชนิด แล้วผลเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอีกต่อหนึ่ง

ดังนั้นกล่าวได้ว่าหากมีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พืชไม่เจริญเติบโตหรือเจริญเติบโตได้น้อยมาก แต่พืชยังคงน้ำได้และมีไนเตรตอยู่ในดินมาก พืชจะดูดไนเตรตเข้าไปแต่ไม่ได้ใช้ในการสร้างกรดอะมิโนทำให้มีการสะสมไนเตรตในพืช

4. สมดุลน้ำ

Chung *et al.* (2003) เสนอวิธีการหาระดับน้ำในนาข้าวโดยคิดจากสมดุลต่างๆ ตามภาพที่ 13 และสมการที่ 32 ดังนี้คือ

$$\Delta S = (R + G_1 + DR_1) - (ET + G_2 + DR_2) \quad (32)$$

เมื่อ R = ปริมาณฝน (cm)

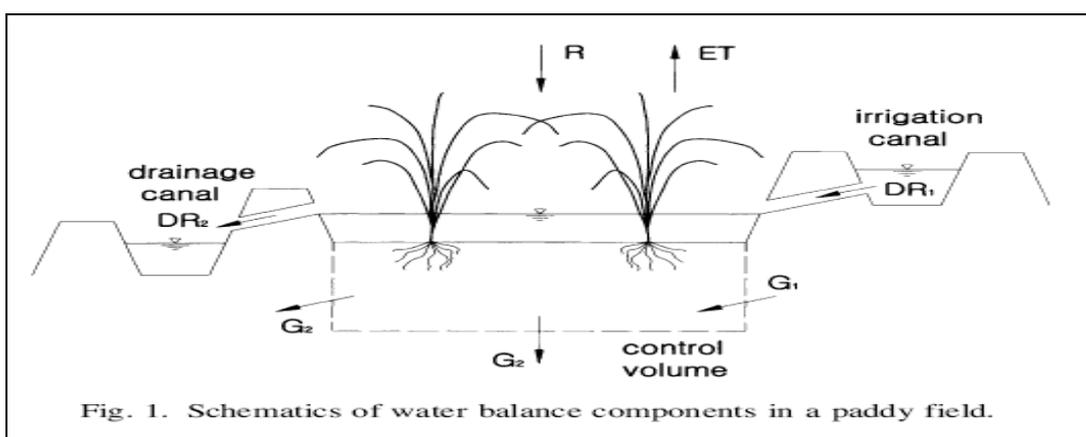
ET = การคายระเหย (cm)

DR_1, DR_2 = ปริมาณน้ำผิวดินที่เข้ามาและออกไปจากนาข้าว(cm)

G_1 = ปริมาณน้ำที่เข้ามาจากใต้ผิวดินด้านข้าง (cm)

G_2 = ปริมาณน้ำที่ออกไปจากใต้ดินทั้งด้านดิ่งและด้านข้าง(cm)

ΔS = การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่สะสมในนาข้าว(cm)



ภาพที่ 13 สมดุลน้ำในนาข้าว

ที่มา: Chung *et al.* (2003)

ในส่วนองระดับน้ำในนาข้าวแต่ละวันนั้นคำนวณจากสมการที่ 33 และการระบายน้ำในนาข้าวถูกควบคุมโดยความสูงของทางออกที่น้ำระบายโดยคำนวณจากสมการที่ 34 และ 35

$$W_d = (W_{d-1} + R_d + IR_d) - (F_d + ET_d + DR_d) \quad (33)$$

$$DR_d = W_d - OH_d, \text{ if } W_d > OH_d \quad (34)$$

$$DR_d = 0, \text{ if } W_d \leq OH_d \quad (35)$$

เมื่อ W = ความลึกน้ำในนา (cm.)

R = ปริมาณฝน (cm.)

IR = ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ (cm.)

F = ปริมาณน้ำที่รั่วซึม (cm.)

ET = การคายระเหยในนา (cm.)

DR = ปริมาณน้ำที่ระบายออกไป (cm.)

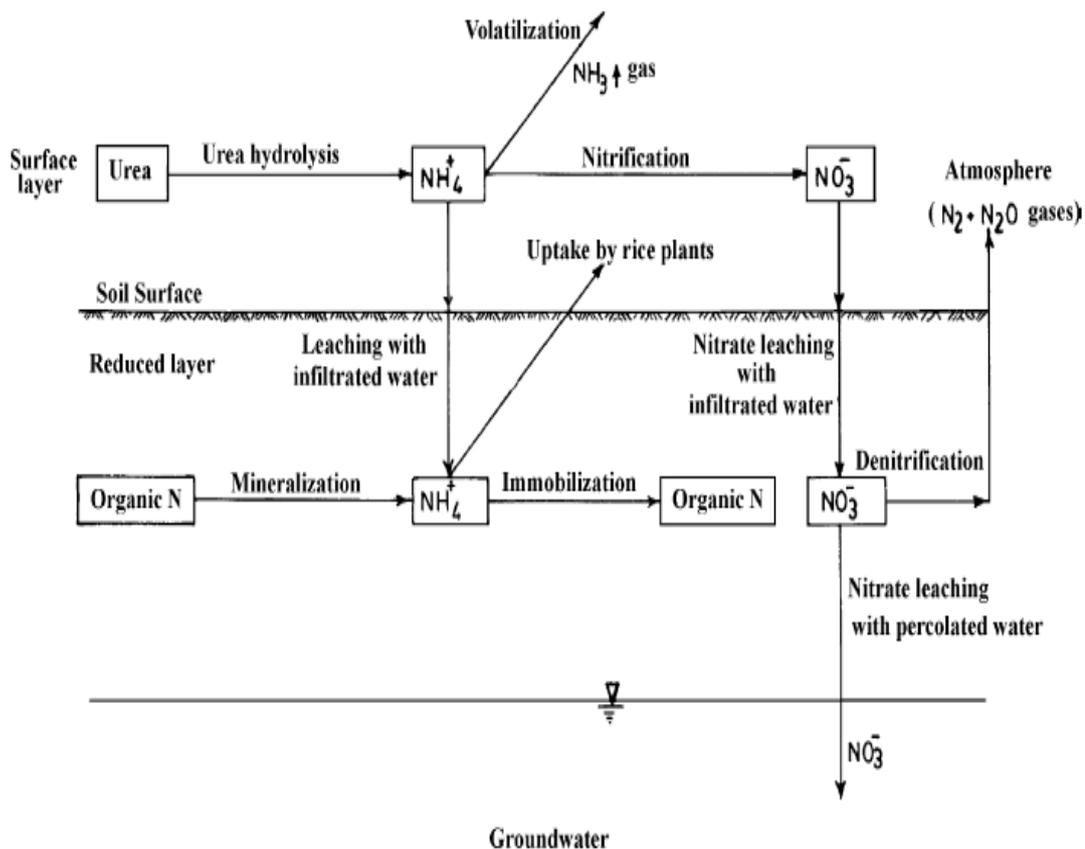
d = ตัวเลขระบุวันที่ใดๆ

OH = ความสูงของทางออกที่น้ำระบายเช่นคันนาหรือประตูควบคุม (cm.)

5. สมดุลไนโตรเจน

การเข้าใจสมดุลไนโตรเจนในนาข้าวเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้เข้าใจกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในนาข้าว จากการทดลองของ Chowdary *et al.* (2004) พบว่าการแตกตัวอย่างสมบูรณ์ของปุ๋ยยูเรียจะเกิดขึ้นภายใน 7 วันหลังการใส่ปุ๋ย โดยมีการสูญเสียไนโตรเจนผ่านกระบวนการ volatilization ในนาข้าว น้ำขังมีค่าประมาณ 25-33% ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่ทั้งหมด และ 75% ของการสูญเสียโดยผ่านกระบวนการ volatilization เกิดขึ้นภายใน 7 วันหลังการใส่ปุ๋ย รวมทั้งค่าการสูญเสียไนโตรเจนโดยการชะล้าง (leaching) มีค่า 20-30% ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่ทั้งหมด อย่างไรก็ตามค่าการดึงไนโตรเจนไปใช้โดยพืช (plant uptake) จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการใส่ปุ๋ยต่อมาจะค่อยๆ ลดลงภายใน 60 วัน

ทั้งนี้การอธิบายกระบวนการต่างๆ ในการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนแสดงในภาพที่ 14 โดยกล่าวว่ากระบวนการต่างๆ ประมาณค่าได้จากสมการ first order kinetic equation ดังนี้คือ



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนในกระบวนการต่างๆ ในนาข้าว

ที่มา: Chowdary *et al.* (2004)

5.1 การแตกตัวของยูเรีย (Urea hydrolysis)

เมื่อมีการใส่ปุ๋ยลงไปบนนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ปุ๋ยยูเรียจะแตกตัวไปเป็น NH_4^+ และ HCO_3^- การแตกตัวของปุ๋ยยูเรียประมาณค่าได้จากสมการ first order kinetic equation ดังสมการที่ 36

$$\text{UNH}_4 = \text{UN}(1 - \exp(-K_n t)) \tag{36}$$

เมื่อ UNH_4 เป็นปริมาณแอมโมเนียม (kg Ha^{-1}), K_n เป็นค่า rate constant ในการสลายตัวของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมและ t เป็นเวลาหลังการใส่ปุ๋ย (วัน)

5.2 กระบวนการ Volatilization

เป็นการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมที่ผลิตจากกระบวนการแตกตัวของยูเรียไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย ประมาณค่าได้จากสมการ first order kinetic equation

5.3 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

เป็นการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมที่ผลิตจากกระบวนการแตกตัวของยูเรียไปเป็นไนเตรทซึ่งมักเกิดขึ้นในชั้นออกซิไดซ์เช่นชั้นบางๆบริเวณผิวดินและบริเวณรากพืชเป็นต้น สำหรับไนเตรทที่เกิดขึ้นจะซึมผ่านผิวดินไปในเขตรากพืช ประมาณค่าได้จากสมการ first order kinetic equation

5.4 กระบวนการ Mineralization

เป็นการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมในเขตรากพืช อย่างไรก็ตามแอมโมเนียมไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทได้ในกรณีที่ในดินมีออกซิเจน รวมทั้งแอมโมเนียมสามารถยึดกับอนุภาคดินเหนียวได้เป็นอย่างดียากแก่การถูกชะล้างไปกับน้ำ ยกเว้นกรณีในดินที่มีทรายผสมอยู่มากมีดินเหนียวน้อยๆ ประมาณค่าได้จากสมการ first order kinetic equation

5.5 กระบวนการ Immobilization

เป็นการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมในเขตรากพืช อย่างไรก็ตามแอมโมเนียมไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทได้ในกรณีที่ในดินมีออกซิเจน รวมทั้งแอมโมเนียมสามารถยึดกับอนุภาคดินเหนียวได้เป็นอย่างดียากแก่การถูกชะล้างไปกับน้ำ ยกเว้นกรณีในดินที่มีทรายผสมอยู่มากมีดินเหนียวน้อยๆ ประมาณค่าได้จากสมการ first order kinetic equation

5.6 กระบวนการ Denitrification

กระบวนการนี้เปลี่ยนไนโตรเจนรูปไนเตรทให้เป็น NO, N₂O และ N₂ แพร่กระจายไปยังบรรยากาศ โดยจะเกิดในชั้นรีดิวซ์ในดินที่มีน้ำท่วมขัง สำหรับไนเตรทที่ผลิตจากกระบวนการไนตริฟิเคชันจากผิวดินจะเคลื่อนที่ไปสู่ดินชั้นนี้โดยการรั่วซึมไปกับน้ำผ่านผิวดินประมาณค่าได้จากสมการ first order kinetic equation

5.7 กระบวนการ uptake

ในนาที่มีน้ำท่วมขังไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมจะเป็นสารอาหารหลักที่พืชสามารถดึงนำไปใช้ได้ผ่านกระบวนการคายน้ำ ในขณะที่ไนโตรเจนในรูปของไนเตรทพืชจะนำไปใช้ได้ น้อยมาก Verma *et al.* (1995) พิจารณาว่าการดึงแอมโมเนียมจากเขตรากพืชไปใช้เป็นไปตามสมการ convection flow โดยการคายน้ำจากความต้องการน้ำของพืช ค่า uptake ของพืชคำนวณตามสมการที่ 37

$$UT_{NH_4} = ET \times NH_4 \quad (37)$$

เมื่อ UT_{NH_4} คือ ค่าอัตราการดึงแอมโมเนียมในเขตรากไปใช้โดยพืช

ET คือ ค่าการคายระเหยของพืช (mm.)

NH_4 คือ ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมในเขตรากพืช

5.8 การชะล้างสารในดิน (leaching)

ไนโตรเจนที่สูญเสียไปในการชะล้างในดินส่วนใหญ่ในรูปของไนเตรท ทั้งนี้เพราะไนเตรทเป็นสารละลายที่มีประจุลบ (Aulakh and Singh, 1997) ในขณะที่แอมโมเนียมถูกพิจารณาว่าไม่ถูกชะล้างและไม่เคลื่อนที่ไปกับการไหลของน้ำ ยกเว้นในกรณีที่มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากหรือในดินที่มีเนื้อหยาบและมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนของประจุบวกต่ำ (low cation exchange capacity) โดยสองปัจจัยหลักที่ควบคุมการสูญเสียไนเตรทไปโดยการชะล้างได้แก่ความเข้มข้นของไนเตรทในเขตรากพืชและปริมาณน้ำในเขตราก

ค่า rate constant ของ first order kinetic equation ในการเปลี่ยนแปลงรูปต่างๆ ของ ไนโตรเจน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความเข้มข้นของยูเรีย อุณหภูมิ pH ในดิน เนื้อดิน เงื่อนไข น้ำที่ท่วมขัง เป็นต้น ทั้งนี้ Chowdary *et al.* (2004) ได้ทำการรวบรวมค่า rate constant จากการทดลองต่างๆ ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันและนำเสนอค่าที่เหมาะสมดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าแนะนำสำหรับ Rate constant ในกระบวนการเปลี่ยนรูปต่างๆ ของไนโตรเจน

Process	Equation	Range of Rate constant (d ⁻¹)	Factors affecting process	Adjustments in rate constants in response to changes in factors
Urea hydrolysis	$UNH_4 = U(1 - \exp(-K_n t))$	0.4-0.8	Urea concentration Soil pH Soil temperature Moisture content of soil Texture	Increases with increase in urea concentration Faster in high pH soils Increase with temperature Faster in wet conditions than dry Faster in clayey soils than in sandy soil
Volatilization	$UNH_3 = UNH_4 (1 - \exp(-K_v t))$	0.02-0.07	Soil pH CEC Submerged conditions NH ₄ ⁺ concentration High flood water temperature	Increase with pH Decrease with increase in CEC Favorable Increases with increase in NH ₄ ⁺ concentration Increases
Nitrification	$UNO_3 = UNH_4 (1 - \exp(-K_n t))$	0.02-0.08	Low pH NH ₄ ⁺ concentration Aeration	Inhibits nitrification Increases with increase in NH ₄ ⁺ concentration Concentration Aerobic conditions are favorable

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Process	Equation	Range of Rate constant (d ⁻¹)	Factors affecting process	Adjustments in rate constants in response to changes in factors
Mineralization	MNH ₄ = PMN [1 - exp(- K _m t)]	0.001-0.04	Temperature Soil moisture C/N ratio CEC pH	Increases with temperature Drying of soils enhances N Mineralization

ที่มา: Chowdary *et al.* (2004)

6. ผลการจัดการน้ำในนาข้าวต่อคุณภาพน้ำ

การตรวจวัดคุณภาพน้ำในเขตลุ่มน้ำแม่กลอง พบว่าอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภท 3 ได้แก่แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อนและสามารถใช้ในการเกษตรได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) จากการทดลองศึกษาผลกระทบการเพาะปลูกด้วยการชลประทานต่อคุณภาพน้ำแม่กลอง โดยการเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำชลประทานในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรีทุก 15 วัน ในช่วงเดือนมีนาคม 2541 ถึง กุมภาพันธ์ 2542 นำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่าคุณภาพน้ำในคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำชลประทานส่วนใหญ่ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในธรรมชาติ มีเฉพาะค่าความขุ่นและค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพของน้ำจากคลองระบายน้ำสำหรับบางช่วงเวลาเท่านั้นที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้การใช้ปุ๋ยและปริมาณฝนมีผลทำให้น้ำที่ระบายจากโครงการชลประทานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแม่่น้ำแม่กลอง (ภาสกร, 2542)

อนึ่งจากการทดลองของ Jeon *et al.* (2003) ในประเทศเกาหลีปี 2544 - 2545 พบว่าน้ำในนาข้าวส่วนใหญ่มาจากน้ำฝนและน้ำชลประทาน และน้ำที่ระบายออกจากริ่่นนาข้าวทางผิวดินมีค่าประมาณ 47-62% ของการสูญเสียน้ำทั้งหมด ในขณะที่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 71%-98% มาจากปุ๋ย โดยพื้่นนาไปใช้ตลอดฤดูกาลประมาณ 69%-94% รวมทั้งมีการสูญเสียของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากการระบายน้ำประมาณ 15%-29% และ 6%-13% ตามลำดับ ในขณะที่สารที่รั่วซึมไปกับน้ำมีค่าน้อยกว่ามาก อย่างไรก็ตามการรักษาและป้องกันคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำมิให้เสียไปจึงพิจารณาว่าการควบคุมปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสิ่งจำเป็นเพราะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพื้่นน้ำซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนั้นๆ โดยตรง

จากรายงานของ Nakasone and Hisao (1999) ซึ่งทำการศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำชลประทานและพื้นที่การใช้ที่ดินในประเทศญี่ปุ่นจำนวน 12 อ่างพบว่าปัจจัยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูกโดยเฉพาะจากนาข้าวที่อยู่เหนืออ่างมีความสำคัญที่สุดในการควบคุมปริมาณไนโตรเจนในอ่างเก็บน้ำรวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสจะมีค่าสูงในช่วงฝนตกโดยในอ่างขนาดเล็กจะส่งผลกระทบต่อมากกว่าอ่างขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามการจัดการการเพาะปลูกในเขตพื้นที่รับน้ำเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำ อนึ่งการทดลองของ Takamura *et al.* (1977) พบว่าปุ๋ยที่ใส่เข้าไปในนาข้าว ปริมาณไนโตรเจนจำนวนมากจะถูกใช้โดยพื้่น โดยกระบวนการระเหยและโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน แต่สำหรับการรั่วซึมเลยเขตรากพื้่นมีค่าน้อยกว่า 30 มิลลิเมตรต่อวัน ถือว่ามีค่าน้อยมากทำให้ค่าการสูญเสียสารต่างๆ ไปกับน้ำส่วนนี้ถือว่าน้อยมากเช่นกันอาจจะไม่นำมาคิด ซึ่งแตกต่างกับค่าสูญเสียไปในกระบวนการระเหยที่มีค่าสูงถึง 60% ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่เข้าไปในนาข้าว ดังนั้นการลดปริมาณการระบายน้ำในช่วงการใส่ปุ๋ยจะนำไปสู่การลดการนำสารจากนาข้าวไปสู่แหล่งน้ำข้างเคียง

รวมทั้ง Yoshinaga *et al.* (2007) ได้ทำการทดลองในนาข้าวพื้นที่ขนาดใหญ่มากกว่า 0.3 แยกแตร้ควบคู่กับการใช้ Tank model เพื่อประมาณค่าไนโตรเจนในนาข้าวโดยใช้ข้อมูลปี 2547 ใส่ปุ๋ยปริมาณ 26 kg ha⁻¹ ซึ่งมากกว่าปริมาณปกติที่แนะนำให้ใส่ประมาณ 130% จำนวนสองครั้ง พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่วัดจากน้ำบริเวณหัวแปลง กลางแปลงและท้ายแปลงมีค่าอยู่ในพิสัยใกล้เคียงกัน 0.6-15.4 mg l⁻¹, 0.5-15.4 mg l⁻¹ และ 0.6-15.2 mg l⁻¹ ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นในนาข้าวเพิ่มขึ้นสองครั้งโดยครั้งแรกเมื่อใส่ปุ๋ยในช่วงเริ่มเพาะปลูกและครั้งที่สองเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอีกครั้งหนึ่งในช่วงเวลาต่างๆ พบว่าทั้งสามบริเวณในนาข้าวมีค่าความเข้มข้นที่ต่างกัน ทั้งนี้ Tabuchi (2001) พบว่าเป็นผลจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีเช่น ไนตริฟิเคชันของไนโตรเจน การละลายของ

ปุ๋ย ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีมีส่วนผกผันกับระดับน้ำที่ท่วมขัง อย่างไรก็ตามการทดลองของ Yoshinaga *et al.* (2007) ได้รายงานว่ามีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจากนาข้าวมีปริมาณ 18.8 kg ha^{-1} โดยเกิดจากการระบายน้ำผิวดิน 7.2 kg ha^{-1} และเกิดจากการรั่วซึม 11.6 kg ha^{-1} ทั้งนี้เมื่อมีการให้น้ำชลประทานน้อยค่าการสูญเสียไนโตรเจนก็น้อยลงเช่นเดียวกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการจัดการน้ำชลประทานลดปริมาณไนโตรเจนในนาข้าวขนาดใหญ่ได้ ซึ่งค่าที่สูญเสียที่เกิดขึ้นอยู่ในค่าพิสัยการสูญเสียไนโตรเจนในพื้นที่นาขนาดกลาง (0.1-0.3 ha) โดย (Jeon *et al.*, 2004) รายงานว่าการสูญเสียไนโตรเจนในนาข้าวประเทศญี่ปุ่นมีค่าประมาณ $10-60 \text{ kg ha}^{-1}$ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและปุ๋ย

สำหรับการแพร่กระจายของสารจากแปลงนาเนื่องจากการไหลของน้ำและการระบายน้ำถือเป็นส่วนสำคัญในเคลื่อนย้ายสารไปสู่แหล่งน้ำที่เชื่อมโยงมีผลต่อคุณภาพน้ำ ดังนั้นการรักษาให้มีระดับน้ำขังในแปลงนาขึ้นและเพิ่มความสูงของคันที่จะระบายน้ำฝน จะช่วยในการลดปริมาณน้ำที่ระบายออกและสามารถลดการแพร่กระจายของสารออกจากแปลงนาได้ด้วย (Bouman and Tuong, 2001) รวมทั้งการทดลองพบว่าประมาณ 20 – 65 % ของการรั่วซึมในแปลงนาที่สามารถลดลงได้จากการให้น้ำแบบ WSI ซึ่งปุ๋ยจะละลายสูญเสียไปกับน้ำในส่วนนี้และจะไปสู่แม่น้ำและดินบริเวณใกล้เคียง จากการทดลองการสูญเสียปุ๋ยจากนาข้าวไปกับการรั่วซึมของน้ำภายใต้การให้น้ำแบบดั้งเดิม (TRI) ดังตารางที่ 7 พบว่ามีปุ๋ยจำนวนมากโดยเฉพาะไนโตรเจนที่สูญเสียไป (Weining, 1993)

ตารางที่ 7 การสูญเสียปุ๋ยจากการรั่วซึมเลยเขตรากพืชในแปลงนาภายใต้การให้น้ำแบบ TRI ที่เมืองกู่หลิน ประเทศจีน ปี 2535

ชนิดของสารอาหาร	อัตราการรั่วซึม (มม./วัน)	ปริมาณการสูญเสียปุ๋ยไปกับน้ำ (กก. / ม ²)												
		เดือนสิงหาคม				เดือนกันยายน				เดือนตุลาคม				
		10	14	18	21	5	9	14	18	21	24	1	7	11
NH ₄ ⁻	3.0	9.6	10.5	9.1	11.9	8.7	8.6	9.3	8.7	10.4	9.4	10.4	9.2	9.4
	6.0	17.9	18.4	16.9	18.2	14.8	13.1	13.1	15.8	12.6	15.0	14.6	15.0	10.7
PO ₄ ³⁻	3.0	1.1	1.1	0.9	1.3	0.9	1.2	0.2	0.7	0.5	1.0	1.0	1.2	0.9
	6.0	4.9	3.2	3.9	3.2	1.6	2.1	0.9	1.2	1.3	1.6	1.3	2.2	0.8

ที่มา: Weining (1993)

สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตามแนวคลองชลประทานซึ่งมีความยาวประมาณ 45 กิโลเมตรในรัฐป็นจาบ ประเทศปากีสถานในช่วงปี 2543 โดยวัดค่าความต้องการออกซิเจนในเตรท แอมโมเนีย ค่าอีโคไล ปริมาณออกซิเจนในน้ำ ความเป็นกรดค่าและอุณหภูมิ และใช้แบบจำลอง PC – QUASAR เป็นเครื่องมือในการทำนายคุณภาพน้ำ จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่าค่าไนเตรท และค่าความต้องการออกซิเจน เป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุด และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแสดงให้เห็นว่าน้ำชลประทานมีคุณภาพต่ำลงมากตามมุมมองเกี่ยวกับด้านจุลชีววิทยา (Amin, 2002)

อนึ่งการวิเคราะห์แนวโน้มและแบบจำลองคุณภาพน้ำของแม่น้ำแคนซัสและ อะลาสก้า สหรัฐอเมริกา โดยการใช้ Multivariate statistic ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากข้อมูลคุณภาพน้ำรายเดือนของ 18 ตัวแปรที่ 25 สถานีในเขตลุ่มน้ำแคนซัสตอนล่างและ 17 ตัวแปรที่ 15 สถานีในเขตลุ่มน้ำอลาสก้า มีการทดสอบแนวโน้มที่แตกต่างกันจาก 4 วิธีได้แก่ the seasonal Kendall test, the mann - Kendall test with deseasonalized data, Sen's T test และ the Van Belle and Hughes χ^2 method ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายคุณภาพน้ำมาจากการรวม a dynamic model และ the Kalman filtering ใช้แบบจำลอง $M/SB1$ เป็นพื้นฐานของเครื่องมือในการเพิ่มความพิถีพิถันกับการใช้ parsimony สำหรับ a dynamic model พิจารณาพารามิเตอร์ในอนุกรมเวลาที่ 1 ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างกว้างๆ เพื่อเป็นแบบจำลองหลัก แบบจำลองนี้ได้ประมาณค่า observed p vector-valued time series จาก q vector-valued time series และใช้ Constrained nonlinear programming เพื่อทดสอบภาวะเสถียรของระบบโครงสร้างของแบบจำลอง จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นพบว่ามี 2 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำคือปัจจัยจากน้ำใต้ดินและน้ำท่าผิวดิน การคำนวณอนุกรมเวลาจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ได้จากการวัด (Shimin, 1992)

ผลการจัดการน้ำชลประทานและปฏิกิริยาต่อคุณภาพดิน

1. การจัดการน้ำต่อคุณภาพดิน

ในส่วนการศึกษาแบบจำลองสำหรับการประเมินและทำนายค่าความเค็มของเกลือในพื้นที่ชลประทาน โดยเลือกพื้นที่ในเขตลุ่มน้ำวาคุลด์ เมืองนิเวซาห์เวลล์ ประเทศออสเตรเลีย จุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ที่ดินในช่วงอดีตที่ผ่านมา และตรวจสอบผลกระทบ

ของการชลประทานต่อระดับน้ำใต้ดินและปัญหาดินเค็มในพื้นที่ปลูกข้าวภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศที่ถูกกำหนด และต่อมาทำแบบจำลองเพื่อประเมินค่าและทำนายความเค็มของเกลือในพื้นที่ซึ่งแบบจำลองต่างๆประกอบด้วยแบบจำลองระนาบผิวดิน (ALSIS) เพื่อหาความชื้นของดินอิ่มตัวและความชื้นที่แพร่กระจายออกไป แบบจำลองการไหลของน้ำผิวดิน (MODFLOW) เพื่อหาค่าระดับน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลง แบบจำลองการไหลผิวดิน (DAFLOW) สำหรับคำนวณอัตราการไหลของน้ำในระบบส่งน้ำ นอกจากนี้ยังมีโมดูลย่อยสำหรับการคำนวณการแพร่กระจายของสารละลายในน้ำใต้ดิน การประยุกต์เพื่อปรับเทียบสร้างแบบจำลองในกลุ่มน้ำแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเลือกพื้นที่ศึกษาผลความเป็นไปได้ของการให้น้ำชลประทานแบบท่วมขังต่อปริมาณเกลือและการแพร่กระจายเกลือ ขั้นตอนต่อมาศึกษาจากสภาพความเป็นจริงของการเปลี่ยนแปลงความเค็มในเขตรากพืช ภายใต้อิทธิพลของการใช้ที่ดินในช่วงปี ค.ศ. 1975 ถึงปี ค.ศ. 1994 ประเมินและทำนายค่าผลของการให้น้ำชลประทานในนาน้ำท่วมขังต่อปริมาณเกลือ สมมติฐานต่างๆ ถูกตรวจสอบโดยการใช้ข้อมูลชลประทานที่มีคุณภาพต่างกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำชลประทานทำให้ระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น และการให้น้ำชลประทานสำหรับนาข้าวแบบน้ำท่วมขัง มีผลต่อการสะสมของเกลือในเขตรากพืช และบ่งชี้ว่าการชลประทานแบบนาที่มีน้ำท่วมขังเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาดินเค็มในพื้นที่ขณะ Peng (2004) กล่าวว่าปัญหาดินเค็มจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำเมื่อมีการระบายน้ำจากแปลงนา

จากการทดลองในภาคใต้ของประเทศไทยพบว่าระดับน้ำใต้ดินในระหว่างการให้น้ำแบบ TRI จะสูงขึ้นถึงระดับผิวดิน และสามารถลดลงได้ถึงระดับ 30 - 80 เซนติเมตรต่ำกว่าผิวดินจากการให้น้ำแบบ WSI ขณะเดียวกันรีดออกซิโพเทนเชียลจากแบบ WSI สูงกว่าแบบ TRI 120 - 200 เปรอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า WSI เพิ่มปริมาณออกซิเจนในดิน กิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและจะไปลดสารที่เป็นพิษต่อข้าว (Zhi, 1993)

2. การจัดการปุ๋ยต่อคุณภาพดิน

2.1 ผลตกค้างของปุ๋ยต่อความเป็นกรดและด่างในดิน

ปุ๋ยบางชนิดเมื่อใส่ลงไปดินแล้วทำให้ดินเป็นกรด บางชนิดทำให้ดินเป็นด่างและบางชนิดไม่มีผลต่อความเป็นกรดด่างของดินคือมีผลตกค้างเป็นกลาง ดังนั้นการเลือกใช้ปุ๋ยจึงควรเลือกให้เหมาะสมกับดินกล่าวคือหากดินมีความเป็นกรดต่างเหมาะสมกับพืชอยู่แล้ว (pH ดินที่

เหมาะสมขึ้นกับสมบัติของดินและชนิดพืช แต่มักจะอยู่ในช่วงกรดอย่างอ่อนถึงด่างอย่างอ่อน) ก็ควรจะเลือกใส่ปุ๋ยที่ไม่ทำให้ดินเป็นกรดหรือด่าง หากดินเป็นกรดจัดอยู่แล้วก็ควรเลือกใส่ปุ๋ยที่ทำให้ดินเป็นด่าง การเลือกปุ๋ยตามแนวดังกล่าวนี้ นอกจากจะไม่ทำให้ดินเป็นกรดหรือด่างมากขึ้นแล้วยังช่วยปรับให้ดินมีค่าพีเอชที่เหมาะสมขึ้น

สำหรับปุ๋ยในโตรเจนในรูปของยูเรียและแอมโมเนียมมีผลตกค้างที่ทำให้ดินเป็นกรดมาก โดยการทดลองของ เขาวพา (2524) ซึ่งศึกษาค่าความเป็นกรดต่างของดินหลังจากใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในการปลูกข้าว 26 ครั้ง ที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และ 27 ครั้ง ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ในปริมาณที่มากขึ้นค่าพีเอชของดินมีแนวโน้มลดลง นั่นคือทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นนั่นเอง

2.2 ผลตกค้างของปุ๋ยต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

จากการทดลองพบว่าปุ๋ยเคมียังช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีเช่นอินทรีย์วัตถุ ปริมาณในโตรเจนที่จะปลดปล่อยไปให้พืชใช้ได้ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน โดย เขาวพา (2524) ได้ทำการทดลองในนาข้าวที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี มีการปลูกข้าว 26 ครั้ง ในช่วงเวลา 13 ปี เพื่อศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังมีการใส่ปุ๋ยพบว่าค่าอินทรีย์วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่แคบมาก ในส่วนของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ตกตะกอนในดินจากการใส่ปุ๋ยสูตร 6-6-6 มีค่ามากที่สุดและสูตร 12-6-6 มีค่าใกล้เคียงกัน คือน้อยกว่าเล็กน้อย ส่วนการใส่ปุ๋ยสูตร 18-6-6 เหลือฟอสเฟตน้อยกว่าทั้งสองสูตรข้างต้นและเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีพบว่าปริมาณฟอสเฟตน้อยที่สุดและมีปริมาณลดลงกว่าในดินในช่วงเริ่มต้น

ทั้งนี้ Wetselaar *et al.* (1977) พบว่ามีการสูญเสียในโตรเจนถึง 12% จากการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตไปที่ผิวดินของน่าน้ำขังบริเวณใกล้กับจังหวัดชัยนาท โดยดินมีค่า pH 7.0-7.5 และ Mikkelsen *et al.* (1978) รายงานว่ามีการสูญเสียในโตรเจนถึง 20% จากการใส่ปุ๋ยไปที่ผิวดินของน่าน้ำขังในประเทศฟิลิปปินส์ซึ่งดินมี pH เป็นกลาง การสูญเสียแอมโมเนียมขึ้นกับสภาพดิน ดินในสภาพน้ำขังมีการสูญเสียมากกว่า 3.6 เท่าของสภาพดินไร่ ดังนั้นดินที่มีสภาพเปียกสลับแห้งจะสูญเสียน้อยกว่าที่น้ำขัง ทั้งนี้เพราะส่งเสริมให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน

อนึ่งจากรายงานของ knisel (1993) สรุปว่าปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆปีต่อปีจากการใช้ปุ๋ย และการเพาะปลูกในระยะยาวอาจจะมีผลต่อสมดุลของแหล่งธาตุต่างๆแต่ยังไม่พบว่าระยะเวลาานเท่าไรจึงมีการเปลี่ยนแปลง และแนวโน้มน่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง อย่างไรก็ตามจากการทำนายโดยแบบจำลองพบว่าเมื่อปลูกข้าวโพดอย่างเดียวในดิน sandy loam ในรัฐจอร์เจีย อเมริการะยะเวลา 50 ปี ให้ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท 145 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ กรณีมีการไถกลบซากพืช พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจน 6 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ต่อปีทั้งในชั้นหน้าดินและที่ลึกลงไป แต่กรณีอื่นเช่นมีการขนซากพืชออกไปทำให้ไนโตรเจนในส่วนชั้นหน้าดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในขณะที่ชั้นดินที่ลึกลงไปมีค่าลดลงเล็กน้อยเช่นกัน ดังนั้นการขนย้ายชีวมวลเหนือดินออกไปน่าจะมีส่วนทำให้ปริมาณของธาตุไนโตรเจนในดินลดลง

นอกจากนี้ยังมีหลายการทดลองพบว่าการสูญเสียไนโตรเจนในนาข้าวในรูปแบบของก๊าซในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน(denitrification) ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ออกซิเจน อินทรีย์วัตถุ pH ดิน อุณหภูมิและคาร์บอนซอร์บิเทนเชียลเป็นต้น สำหรับดินที่ปลูกข้าวในเขตร้อนมีการสูญเสียไนเตรทผ่านกระบวนการนี้อย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วันหลังจากมีน้ำขัง โดยการสูญเสียนี้มีความสำคัญและเป็นปัญหามากที่สุด ส่วนการทดลองของ De Delta (1978) รายงานว่ามีการสูญเสียในกระบวนการนี้ในนาข้าวประมาณ 20-40% ในอินเดีย และ 30-40% ในญี่ปุ่น และทัศนีย์ (2543) ได้เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้จากกลไกของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ว่าถ้าแอมโมเนียมไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทที่ดินสัมผัสกับน้ำแล้วกระบวนการนี้ก็จะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลึกลงไปในดินหรืออาจมีการใส่สารเคมีที่จะยับยั้งไนตริฟิเคชัน ใส่ปุ๋ยให้เป็นก้อนใหญ่เพื่อลดพื้นที่สัมผัสกับจุลินทรีย์ที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยา หรือหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยเคมีพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตู้ Chamber สำหรับเก็บอากาศพร้อมอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซมีเทนแบบดิจิทัล
2. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ
3. เครื่อง Spectrophotometer
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า
6. เครื่องวัดค่า pH
7. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
8. ถ้วยกระเบื้อง
9. กระดาษกรอง
10. หลอดเก็บตัวอย่างดิน
11. ปิเปต กระจบอกตวงและเครื่องแก้วอื่นๆที่จำเป็น
12. อุปกรณ์อำนวยความสะดวกในขณะที่เก็บตัวอย่างในแปลงนา
13. แบบจำลอง DNDC เพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิธีการ

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในนาข้าวเขตพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองปลูกข้าวด้วยวิธีนาหว่านน้ำตามโดยใช้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ปลูกข้าวนาปีและนาปรังอย่างละ 1 ฤดูในปี 2549 พื้นที่วิจัยประกอบด้วยนาข้าวในสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 (แม่กลองใหญ่) กรมชลประทาน ที่พิกัดประมาณ $13^{\circ} 57' 09''$ เหนือ และ $99^{\circ} 58' 02''$ ตะวันออก จำนวน 4 ไร่ (เงื่อนไขที่ 1-4) โดยชนิดดินเป็นดินร่วนปนทราย (silty loam) และพื้นที่นาข้าวเกษตรกรที่มีการจัดการน้ำแบบดั้งเดิมในเขตลุ่มน้ำแม่กลองอีก 1 ไร่ (เงื่อนไขที่ 5) ที่พิกัดประมาณ $13^{\circ} 59' 57''$ เหนือ และ $99^{\circ} 58' 41''$ ตะวันออก สำหรับผังแปลงทดลองแสดงในภาพที่ 15 โดยในสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานมีพื้นที่นาข้าว 64 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย ระดับน้ำใต้ดินในหน้าแล้งที่ไม่ได้ทำนาจะลึกมากกว่า 2.50 เมตร ในขณะที่ช่วงที่มีการทำนาดินจะอึมตัวด้วยน้ำ ทั้งนี้มีชั้นดานอยู่ใต้ดินลึกลงไปประมาณ 1.20 เมตรจากผิวดิน พื้นที่บริเวณนี้ทำการทดลองแบบ Randomized Complete Block

Design (RCBD) จำนวน 4 เงื่อนไข 3 ซ้ำ ส่วนนาเกษตรกรรมมีพื้นที่ประมาณ 2 ไร่ ทำการเก็บข้อมูลในแปลง 3 จุด รวมทั้งได้ทำการเก็บข้อมูลน้ำในคลองส่งน้ำ 1ข-1ช-5ช-สายใหญ่ฝั่งซ้ายที่ กม. 16+280 (ส.1) และ กม.17+400 (ส.2) สำหรับคลองระบายน้ำเก็บข้อมูลในคลองระบายน้ำ ร.1ข – 6ข ทำสาร-บางปลาที่ กม. 1+650 (ร. 2) , กม. 2+400 (ร.3) และ กม. 3+100 (ร.4) ส่วนจุด ร.1 เป็นจุดในคูระบายน้ำสายย่อยที่รับน้ำจากนาเกษตรกรรมก่อนที่จะลงสู่คลองระบายน้ำที่ กม. 2+300 สำหรับการจัดการทดลองต่างๆ มีดังนี้คือ

1. แผนการเพาะปลูกข้าว

การทดลองได้ทำการปลูกข้าว 2 ฤดูโดยมีกำหนดการดังนี้คือ

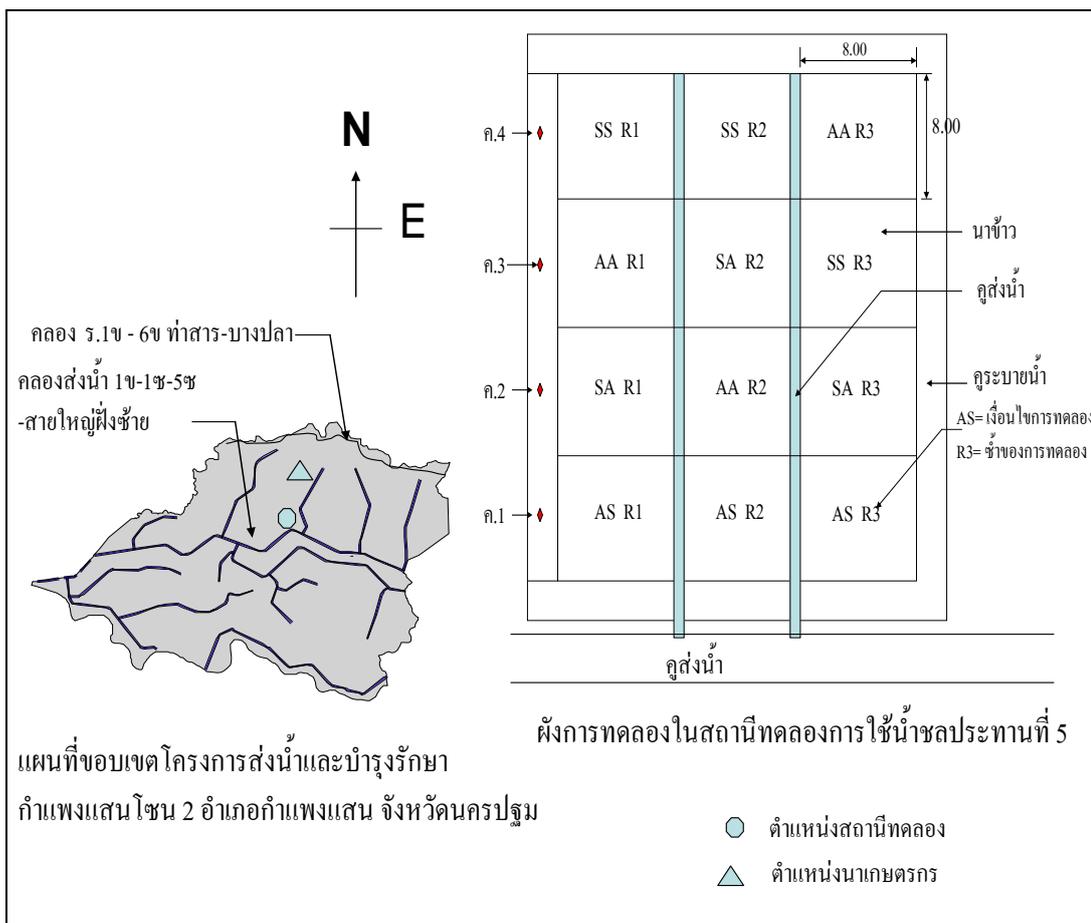
- 1.1 ฤดูที่ 1 เริ่มเพาะปลูก 8 มีนาคม 2549 และเก็บเกี่ยว 10 กรกฎาคม 2549
- 1.2 ฤดูที่ 2 เริ่มเพาะปลูก 21 สิงหาคม 2549 และเก็บเกี่ยว 23 ธันวาคม 2549

2. การใส่ปุ๋ย

ในแปลงทดลองกำหนดให้มีการใส่ปุ๋ย 3 ครั้งคือหลังหว่านข้าว 25 วัน 50 วันและ 70 วัน โดยใช้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ปริมาณ 35 กิโลกรัมต่อไร่ในครั้งแรกและใช้สูตร 46-0-0 ปริมาณ 10 กิโลกรัมต่อไร่ในครั้งที่ 2 และ 3 สำหรับการใส่สารเคมีปราบวัชพืชและแมลงมี 3 ครั้ง คือก่อนเพาะปลูก หลังเพาะปลูก 1 และ 2 เดือนตามลำดับ

3. เงื่อนไขการทดลอง

กำหนดเงื่อนไขการทดลองสำหรับการจัดการน้ำเป็น 5 เงื่อนไขจำนวน 3 ซ้ำ พิจารณาการจัดการน้ำเป็น 4 ช่วงเวลาคือ I_1 , I_2 , I_3 และ I_4 ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว และระดับน้ำในนาเป็น 5 แบบดังนี้คือ



ภาพที่ 15 ผังแปลงทดลอง

3.1 การแบ่งช่วงเวลาในการจัดการน้ำ แบ่งตามการเจริญเติบโตของข้าวเป็น 4 ช่วงเวลาด้วยกันคือ

- ก. I_1 คือระยะที่เริ่มหว่านข้าวจนถึงแตกกอสูงสุด (20 วันหลังหว่าน)
- ข. I_2 คือช่วงแตกกอสูงสุดถึงกำเนิดช่อดอก (20 – 50 วันหลังหว่าน)
- ค. I_3 คือช่วงกำเนิดช่อดอก ออกดอกถึงเริ่มสุกแก่ (50 - 104 วันหลังหว่าน)
- ง. I_4 คือช่วงเริ่มสุกแก่ถึงเก็บเกี่ยว (104 – 120 วันหลังหว่าน)

3.2 ระดับน้ำในนาข้าวแบ่งเป็น 5 กรณีดังนี้คือ

ก. ระดับน้ำท่วมขังในนาข้าวแบบระดับตื้น (Shallow Water Depth) คือให้น้ำอยู่ที่ระดับ 10 ถึง 5 เซนติเมตร (S)

ข. กรณีระดับน้ำท่วมแบบเปียกสลับแห้ง (Alternate wetting and drying) คือให้น้ำขังในนาที่ระดับ 5 ถึง -5 เซนติเมตร(A)

ค. กรณีน้ำท่วมขังแบบการทำนาดั้งเดิม (Traditional irrigation) คือมีน้ำขังที่ระดับ 20 ถึง 30 เซนติเมตร(T)

ง. กรณีระบายน้ำ (Drainage) ออกจากนาข้าวจนแห้งก่อนการเก็บเกี่ยว(D)

จ. กรณีน้ำขังในนาประมาณ 5 เซนติเมตรเป็นช่วงหว่านข้าว (Broadcasting) หลังมีการระบายน้ำออกจากแปลง (B)

ควบคุมข้อมูลด้านต่างๆ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ดิน ช่วงเวลาปลูกให้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นแผนการทดลองการจัดการน้ำทั้ง 5 เงื่อนไขจึงประกอบด้วยการให้น้ำท่วมขังที่ 5 ระดับคือ S, A, T, D และ B ช่วงเวลาการให้น้ำ 4 ช่วงได้แก่ I₁, I₂, I₃ และ I₄ โดยที่ในช่วงเวลา I₂ และ I₃ มีการจัดการดังนี้คือ S I₂ (มีน้ำท่วมขังแบบระดับ S ในช่วงเวลา I₂), S I₃, A I₂, A I₃, T I₂ และ T I₃ ส่วนช่วงที่ I₁ และ I₄ มีการให้น้ำแบบ B I₁ และ D I₄ ตามลำดับเหมือนกันในทุกเงื่อนไขดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 การจัดการน้ำในนาข้าวที่ช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละเงื่อนไข

เงื่อนไข	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄
1(SS)	B	S	S	D
2(SA)	B	S	A	D
3(AS)	B	A	S	D
4(AA)	B	A	A	D
5(TT)	B	T	T	D

เนื่องจากในช่วงเวลา I_1 และ I_4 ของทุกเงื่อนไขมีการจัดการน้ำที่เหมือนกันดังนั้นจึงเรียกการจัดการน้ำในเงื่อนไขที่ 1-5 ตามการจัดการน้ำในช่วง I_2 และ I_3 คือ SS, SA, AS, AA และ TT ตามลำดับ

4. การเก็บข้อมูลในพื้นที่ต่างๆ

สำหรับการทดลองในพื้นที่ทดลองต่างๆมีการเก็บข้อมูลดังนี้คือ

4.1 พื้นที่นาข้าวในแปลงทดลองการใช้น้ำชลประทานและในแปลงเกษตรกรที่ทำนาแบบดั้งเดิมทำการเก็บข้อมูลดินก่อนและหลังการทดลอง เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำและปริมาณมีเทนเป็นระยะๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดการทดลอง

4.2 ในคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำชลประทานรวมทั้งคูระบายน้ำย่อยที่จุดขึ้นติดกับนาข้าวเก็บข้อมูลน้ำในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บมีเทนในนาข้าว

5. วิธีการวัดน้ำในนาข้าว

กำหนดตำแหน่งวัดน้ำในนาข้าวแต่ละแปลงโดยวิธีการสุ่มหาค่าเฉลี่ยจากระดับน้ำที่ 5 จุดทำการปักไม้แสดงตำแหน่งพร้อมฝิ่งท่อพีวีซียาว 30 เซนติเมตรเจาะรูพรุนรอบเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 รู โดยฝิ่งท่อลึกลงไปในดิน 10 เซนติเมตรพร้อมทั้งติดตั้งสเกลวัดระดับน้ำ เก็บข้อมูลจากการวัดระดับน้ำในนาข้าวทุกวัน สำหรับปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ในแปลงนาได้จากการวัดด้วย cutthroat flume ขนาด 15 เซนติเมตร ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการที่ 38 ดังนี้คือ

$$Q = 0.1874 H^{1.663} \quad (38)$$

เมื่อ H = ความสูงของระดับน้ำที่อาคาร(cm)

Q = อัตราการไหลผ่านอาคาร ($l s^{-1}$)

ในการให้น้ำชลประทานผ่าน cutthroat flume จับเวลาที่ให้น้ำผ่านเพื่อนำไปคูณกับอัตราการไหล ผลที่ได้เป็นปริมาตรน้ำ ต่อมานำไปแปลงค่าเป็นหน่วยความลึกน้ำโดยหารด้วยพื้นที่รับน้ำ ส่วนปริมาณน้ำฝนรายวัน ได้จากสถานีวัดน้ำฝนในสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 ซึ่งใกล้จุดทดลอง นำผลจากการวัดมาหาค่าปริมาณน้ำต่างๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนทั้งหมด ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งในช่วงต่างๆ ได้แก่ ต้นฤดูและปลายฤดูซึ่งเป็นการระบายน้ำฝน รวมทั้งการระบายน้ำระหว่างฤดูที่มีทั้งระบายน้ำฝนในทุกการจัดการน้ำและระบายน้ำชลประทานเพื่อใส่ปุ๋ยในการจัดการน้ำเงื่อนไขแบบ TT นอกจากนี้มีการระบายน้ำก่อนการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นการระบายน้ำชลประทาน คำนวณหาปริมาณฝนใช้การจากปริมาณฝนทั้งหมดหักออกด้วยปริมาณฝนที่ระบายทิ้งทั้งหมด ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดคำนวณจากผลรวมของฝนใช้การและน้ำชลประทาน ส่วนปริมาณที่รั่วซึมและคายระเหยของเงื่อนไขการจัดการน้ำ SS, SA, AS และ AA คำนวณจากปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดหักออกด้วยน้ำที่ระบายก่อนการเก็บเกี่ยว สำหรับเงื่อนไขแบบ TT คำนวณจากปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดหักออกด้วยน้ำที่ระบายก่อนการเก็บเกี่ยวและน้ำชลประทานที่ระบายระหว่างฤดูก่อนการใส่ปุ๋ย

6. การเลือกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ วิธีการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำ

การเลือกพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาคุณสมบัติของคุณภาพน้ำต่างๆ ดังนี้ คือ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD) ไนเตรท (NO_3) ฟอสเฟต อุณหภูมิของน้ำ แอมโมเนียมในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ซึ่งในการทดลองนี้จะเน้นให้ความสำคัญกับพารามิเตอร์หลักที่เกิดจากการใส่ปุ๋ยในนาข้าวคือค่าไนเตรทในน้ำ โดยได้เลือกเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองส่งน้ำชลประทานที่ส่งให้พื้นที่นาข้าวจำนวน 2 จุด เก็บจากในนาข้าว 10 จุด จากคลองระบายน้ำชลประทานที่รับน้ำจากพื้นที่นาข้าวที่ทำการศึกษาก่อนที่จะทิ้งน้ำลงสู่ลำน้ำธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองอีก 4 จุด และเก็บจากคูระบายน้ำย่อยที่ติดกับนาข้าวอีก 5 จุด

หลังจากได้เลือกจุดที่จะเก็บตัวอย่างน้ำแล้ว ทำการเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมอตลอดการทดลอง เก็บตัวอย่างน้ำโดยวิธี grab sample สำหรับคลองส่งน้ำจะเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกจากผิวน้ำเท่ากับ 0.60D เมื่อ D คือความลึกน้ำที่จุดใดๆ และเก็บที่ตำแหน่งกลางคลองเพียงจุดเดียว ส่วนคลองระบายน้ำชลประทานเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกต่ำกว่าผิวน้ำ 0.20D และ 0.60D ที่ตำแหน่งกลางลำน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจุดละ 1 ลิตร ทำการล้างขวดที่เตรียมไว้ด้วยน้ำตัวอย่างที่จุดเก็บ 2-3 ครั้ง ปิดจุกเกลียวได้ผิวน้ำให้สนิท ติดฉลากระบุจุดเก็บหรือสถานที่เก็บ นำไปแช่ในถังน้ำแข็งอุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียสทันที เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการให้แล้วเสร็จภายใน 3 วัน

สำหรับวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำประกอบด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่

6.1 การนำไฟฟ้าของน้ำ ใช้เครื่อง SCT meter โดยหย่อน Probe ลงในน้ำและวัดอุณหภูมิแล้วปรับเครื่องวัดอุณหภูมิให้ตรงกับอุณหภูมิน้ำที่วัดได้ในขณะนั้น จากนั้นทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ

6.2 อุณหภูมิของน้ำวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ มีหน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียสทำการวัดได้โดยตรงจากสนาม

6.3 ความเป็นกรดด่างวัดโดยใช้เครื่อง pH meter โดยตรงในสนาม

6.4 ค่าความเข้มข้นของ ไนเตรท ฟอสเฟต และแอมโมเนียมใช้เครื่อง Spectrophotometer

6.5 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) หาจากวิธี standard method โดยการรินน้ำสำหรับทำการเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ เติมน้ำตัวอย่างตามจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำสำหรับทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ค่อยๆ รินน้ำใส่ขวด BOD 3 ขวด ปิดจุก นำไปเก็บในตู้บ่มน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวดเพื่อหาค่า DO_5 อีกขวดนำไปหาค่า DO_0 ในการหาค่า DO ทำการเติมสารละลายตามขั้นตอนต่อไปนี้

ก. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตรลงไปในตัวอย่างน้ำ

ข. เติม 2 มิลลิลิตรของสารละลาย alkali- iodide azide ลงไปปิดจุกแล้วเขย่าอย่างแรง โดยกลับขวดไปมาประมาณ 10 – 20 ครั้ง ทิ้งให้ตกตะกอน

ค. เติม conc. H_2SO_4 2 มิลลิลิตร ปิดจุกและเขย่า โดยกลับขวดไปมาจนกระทั่งละลายเป็นสีส้มทั้งหมด ตวงใส่กระบอกตวง 200 มิลลิลิตร แล้วใส่ลงใน flask ขนาด 500 มิลลิลิตร

ง. เติมน้ำแข็ง 2 มิลลิลิตรลงใน flask และเขย่าให้สารละลายเข้ากันเป็นสีน้ำเงินออกค่านำสารละลายที่เตรียมไว้นี้ไทเตรตด้วย 0.025 N โซเดียมไฮโอซัลเฟตจะได้สีขาวใส อ่านค่าได้ DO₀ สำหรับอีก 2 ขวดที่เก็บไว้ในตู้เย็น 5 วัน ทำวิธีการเดียวกับข้างบนอ่านค่าเป็น DO₅ แล้วนำไปหาค่า BOD จากสมการ 39

$$\text{BOD (mg / l)} = (\text{DO}_0 - \text{DO}_5) \times 100 / \% \text{ dilute} \quad (39)$$

7. การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพภูมิอากาศ

สำหรับข้อมูลอากาศพิจารณาจากปริมาณก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่แพร่กระจายไปในอากาศเป็นก๊าซหลัก การเก็บก๊าซใช้วิธี The closed static chamber technique ตามการทดลองของ (Chidthaisong, 2007) โดยนำตู้เก็บอากาศ (chamber) ขนาด 60 x 60 x 60 เซนติเมตรพร้อมอุปกรณ์ติดตั้งไปครอบที่ต้นข้าว ปิครูมิให้อากาศจากภายนอกเข้าไปในระบบ สำหรับการครอบตู้เก็บอากาศแปลงละหนึ่งหรือสองชั้นดูจากความสูงของต้นข้าว จับเวลาเริ่มครอบและเวลาที่วัด ทั้งนี้ Bekku *et al.* (1995) แนะนำให้ทำการเปิดพัดลมในตู้ครอบเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อกวานอากาศให้สม่ำเสมอ ก่อนทำการวัด นอกจากนั้น อรวรรณ (2541) ได้เสนอให้ทำการวัดในช่วงเวลาประมาณ 10-11 นาฬิกา ทั้งนี้เพราะเป็นเวลาที่ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยออกมามีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของวัน การวัดก๊าซใช้เครื่องมือวัดก๊าซมีเทนแบบดิจิตอล ซึ่งได้ทำการ calibrate ค่ากับเครื่อง Gas Chromatography (GC) พบว่าในทั้งสองฤดูมีค่าสหสัมพันธ์ (R²) เท่ากับ 0.9998 นำเครื่องมือไปวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เวลาต่างๆ พร้อมวัดอุณหภูมิ ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดก๊าซมีเทนแบบดิจิตอลดังกล่าวเป็นค่าความเข้มข้นมีเทนมีหน่วยเป็น ppmV ต่อมาทำการแปลงหน่วยให้เป็นความหนาแน่นของก๊าซโดยใช้ The ideal gas law ตามคำแนะนำของ (Chidthaisong, 2007) ดังสมการที่ 40

$$C_i = (q_i \times M_i \times P) / (R \times T) \quad (40)$$

เมื่อ C_i คือความหนาแน่นของก๊าซ (g m⁻³), q_i คือความหนาแน่นของก๊าซ (ppmV), M คือมวลโมเลกุล, P คือความดันบรรยากาศ, R เป็นค่าคงที่มาตรฐานของก๊าซ และ T เป็นอุณหภูมิหน่วยองศาเคลวิน

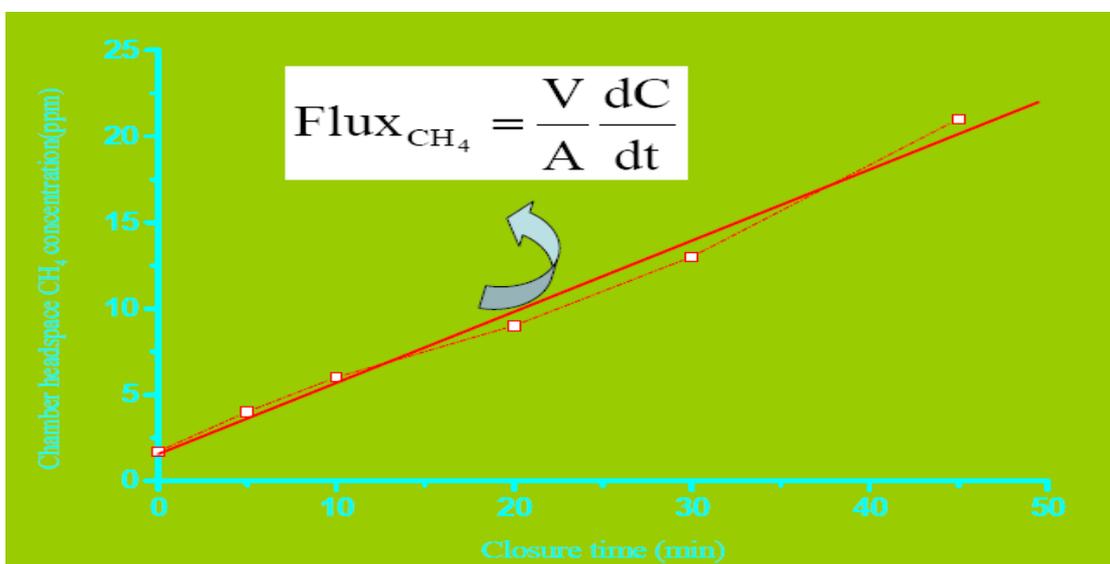
ต่อมาหาค่าความลาดชันของความหนาแน่นของก๊าซต่อเวลา (dC/dt) หลังจากนั้น Ishigaki *et al.* (2005) เสนอให้คำนวณหาการแพร่กระจายของก๊าซ (flux) ดังสมการ 41

$$\text{Flux} = (V/A) \times (dC / dt) \quad (41)$$

เมื่อ Flux เป็นปริมาณก๊าซต่อพื้นที่ต่อหน่วยเวลา V เป็นปริมาตรตู้ครอบและ A คือพื้นที่ที่ครอบ

จากการทดลองของ Chidthaisong (2007) พบว่าการวัดปริมาณมีเทนในนาข้าวที่เวลาต่างๆ ในระบบปิดตั้งแต่เริ่มครอบตู้เก็บอากาศจนกระทั่งเวลาผ่านไป 50 นาที ให้ค่าความเข้มข้นของมีเทนที่แพร่กระจายไปในอากาศมีแนวโน้มของความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับเวลาดังภาพที่ 16

นอกจากนั้นในการทดลองได้เก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำฝน ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ ตลอดจนอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ของดินเพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์แบบจำลอง DNDC



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของมีเทนและเวลาที่ครอบ

ที่มา: Chidthaisong (2007)

8. การเก็บข้อมูลคุณภาพดิน

การวิเคราะห์เกี่ยวกับคุณภาพดินในนาข้าวได้พิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อนำเข้าแบบจำลอง DNDC ได้แก่ soil texture, bulk density, clay fraction, soil pH, field capacity, wilting point, depth of water-retention layer, SOC at surface soil, depth of top soil with uniform SOC content, SOC decrease rate below top soil, SOC partitioning, Initial NO_3 Concentration at Surface Soil, Initial NH_4 Concentration at surface soil โดยมีการเก็บตัวอย่างดินดังนี้คือ เก็บตัวอย่างดินที่ความลึกจากหน้าดิน 0-5 เซนติเมตรจากทุกแปลงในช่วงเวลาก่อนการทดลองและเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15, 15-30 เซนติเมตรในช่วงเวลาก่อนและหลังการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในดินได้แก่การนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่างๆ และ pH ดิน การหาพารามิเตอร์ต่างๆของดินในห้องทดลองมีวิธีการต่างๆ ดังนี้คือ

8.1 หาค่า อินทรีย์วัตถุจากวิธี Walkley and Black

8.2 หาค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) จากวิธี Calculation from Organic Carbon and Total Nitrogen

8.3 หาค่า แอมโมเนียม ($\text{NH}_4\text{-N}$) และไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) จากวิธี KCl Extraction, Distillation

8.4 หาค่าฟอสเฟต (P) จากวิธี Bray II Extraction, Spectrophotometer

8.5 หาค่าโพแทสเซียม (K) จากวิธี NH_4OAc Extraction, Atomic Absorption Spectroscopy

9. การวิเคราะห์ผลจากพารามิเตอร์

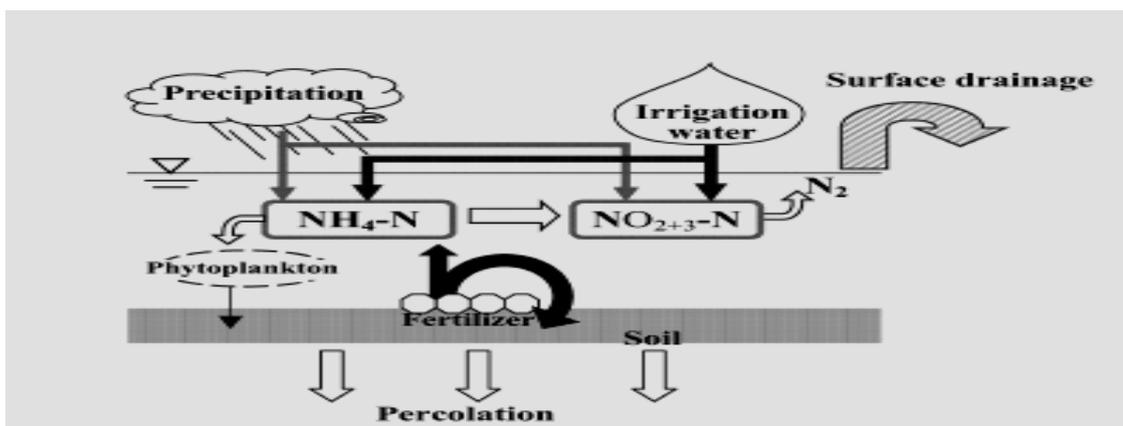
หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากข้อมูลทดลองในนาข้าว ในคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำรวมทั้งคูระบายน้ำแล้ว ทำการวิเคราะห์ผลต่างๆ ดังนี้คือ

9.1 วิเคราะห์คุณภาพอากาศคือปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้น โดยใช้แบบจำลอง DNDC ในการจำลองแทนการใช้สถิติและการทำสมดุลของมวลสาร ทำการเปรียบเทียบมีเทนที่วัดได้จากการทดลองจริงในเงื่อนไขการจัดการน้ำแบบต่างๆเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลอง ต่อมาศึกษาหากลไกความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางในการลดผลกระทบ

9.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทำการศึกษาผลกระทบของคุณภาพน้ำในนาข้าว และคุระบายน้ำที่ติดกับนาข้าวทดลองที่มีการจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ โดยเปรียบเทียบผลกระทบการรั่วซึมของสารจากนาข้าวลงสู่แหล่งน้ำมากน้อยเช่นไร เพื่อหาแนวทางในการจัดการน้ำที่ทำให้ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำน้อยลง ส่วนในคลองระบายน้ำชลประทานที่รับน้ำจากนาข้าวในตัวแทนพื้นที่ศึกษาดูความเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในช่วงที่มีการเพาะปลูก นอกจากนี้ได้ทำการ simulation ในเตรทและแอมโมเนียม ซึ่งเป็นสาระสำคัญที่เกิดจากการใส่ปุ๋ยเพื่อดูผลของความเข้มข้นในนาข้าวและการรั่วซึมไปกับน้ำใต้ดิน รายละเอียดดูในหัวข้อ 9.4

9.3 การวิเคราะห์คุณภาพดิน ทำการศึกษาผลกระทบของคุณภาพดินในนาข้าวทดลองที่มีการจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ดินต่างๆ ก่อนและหลังการทดลองและเปรียบเทียบผลในเงื่อนไขต่างๆ ว่าก่อให้เกิดผลกระทบมากน้อยเช่นไร เพื่อหาแนวทางในการลดผลกระทบดังกล่าว

9.4 การทำ simulation หาความเข้มข้นของไนเตรทและแอมโมเนียมในนาข้าวเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนที่รั่วซึมไปกับน้ำใต้ดินจากการจัดการน้ำแบบต่างๆ ได้ประยุกต์ใช้แนวความคิดจาก Dissolved nitrogen model for paddy field ponded water during irrigation period ของ Yoshinaka *et al.*, (2004) ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ไดอะแกรมสำหรับ the dissolved nitrogen model

ที่มา: Yoshinaka *et al.*, (2004)

ทั้งนี้แบบจำลองดังกล่าวได้ทำขึ้นเพื่อหาค่าความเข้มข้นรายวันของ $\text{NH}_4\text{-N}$ และ $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ ในนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง โดยประมาณว่าน้ำที่ท่วมขังเป็นระบบที่มีการผสมกับสารแบบสมบูรณ์ ทำการจำลองปฏิกิริยาทั้งทางด้านชีววิทยาและการเคลื่อนที่ของไนโตรเจนในน้ำรายวัน ปฏิกิริยาการละลายของไนโตรเจนเป็นไปตาม first - order kinetic equation ไม่พิจารณาไนโตรเจนที่สะสมในดินเพราะพืชสามารถนำไปใช้ได้ไม่น้อยกว่า 5 % ขณะเดียวกันค่า $\text{NO}_2\text{-N}$ ในน้ำมีค่าน้อยมากเช่นกัน จึงพิจารณาเฉพาะค่า $\text{NO}_3\text{-N}$

สำหรับการหาความเข้มข้นรายวันของ $\text{NH}_4\text{-N}$ คิดจากการเกิดปฏิกิริยาด้านชีววิทยาคือ ไนตริฟิเคชันซึ่งเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทและการดึงแอมโมเนียมไปใช้โดย phytoplankton รวมทั้งการเคลื่อนที่ของไนโตรเจนในน้ำรายวันดังสมการที่ 42 – 48 ดังนี้คือ

$$H^i = \phi_{H1}^i \times e^{(-\alpha-\gamma)\Delta t} + (\phi_{H2}^i + \phi_{H3}^i + \phi_{H4}^i) \times e^{(-\alpha-\gamma)\Delta t/2} \quad (42)$$

เมื่อ H^i คือความเข้มข้นของ $\text{NH}_4\text{-N}$ ในน้ำที่ท่วมขังวันที่ i (mg l^{-1})

ϕ_{H1}^i คือความเข้มข้น $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่เหลือจากน้ำในนาข้าววันที่ $i-1$ (mg l^{-1}) ดังสมการที่ 43

ϕ_{H2}^i คือความเข้มข้น $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่เกิดจากน้ำชลประทานวันที่ i (mg l^{-1}) ดังสมการที่ 44

ϕ_{H3}^i คือความเข้มข้น $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่เกิดจากฝนวันที่ i (mg l^{-1}) ดังสมการที่ 45

ϕ_{H4}^i คือความเข้มข้น $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่เกิดจากการสลายตัวจากปุ๋ยและแพร่กระจายสู่น้ำวันที่ i (mg l^{-1}) ดังสมการที่ 46

α คือค่า nitrification rate constant (d^{-1}) ดังสมการที่ 47

γ คือค่า phytoplankton rate constant (d^{-1}) ดังสมการที่ 48

Δt คือช่วงเวลาเท่ากับหนึ่งวัน

$\Delta t / 2$ คือช่วงเวลาเท่ากับครึ่งวัน

$$\phi_{H1}^i = \frac{WD^{i-1}}{WD^{i-1} - E^i} \times \frac{WD^i - P^i - I^i}{WD^i} \times H^{i-1} \quad (43)$$

เมื่อ WD^{i-1} คือความลึกของน้ำที่ท่วมขังในนาข้าววันที่ $i-1$ (m.)

WD^i คือความลึกของน้ำที่ท่วมขังในนาข้าววันที่ i (m.)

P^i คือปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในวันที่ i (m.)

I^i คือปริมาณน้ำชลประทานที่ให้วันที่ i (m.)

E^i คือปริมาณการคายระเหยจากนาข้าววันที่ i (m.)

H^{i-1} คือความเข้มข้นของ $\text{NH}_4\text{-N}$ ในน้ำที่ท่วมขังวันที่ $i-1$ (mg l^{-1})

$$\phi_{H2}^i = \frac{I^i}{WD^i} \times C_{H2}^i \quad (44)$$

เมื่อ C_{H2}^i คือความเข้มข้นของ $\text{NH}_4\text{-N}$ ในน้ำชลประทานที่ให้วันที่ i (mg l^{-1})

$$\phi_{H3}^i = \frac{P^i}{WD^i} \times C_{H3}^i \quad (45)$$

เมื่อ C_{H3}^i คือความเข้มข้นของ $\text{NH}_4\text{-N}$ ในน้ำฝนที่ตกลงมาในวันที่ i (mg l^{-1})

$$\phi_{H4}^i = \Delta \times C_{FH}^i \quad (46)$$

เมื่อ C_{FH}^i คือ ความเข้มข้นทั้งหมดของ $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่สลายตัวจากปุ๋ยในวันที่ i (mg l^{-1})

Δ คือ ค่าอัตราส่วนการแพร่กระจายของปุ๋ยไปสู่น้ำต่อการสลายตัวของปุ๋ยในวันที่ i

$$\alpha = \left(\frac{A}{WD^i} \right) \times \theta^{WT^i - 20} \quad (47)$$

เมื่อ A คือค่า nitrification rate coefficient ($m d^{-1}$)

θ คือค่า water temperature coefficient

WT^i คือค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรายวันในวันที่ I ($^{\circ}C$)

$$\gamma = \Gamma \times \theta^{WT^i - 20} \quad (48)$$

เมื่อ Γ คือค่า phytoplankton uptake coefficient (d^{-1})

ส่วนความเข้มข้นรายวันของ NO_3-N ได้คิดจากปฏิกิริยาด้านชีววิทยาคือดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเปลี่ยนรูปไนเตรทไปเป็น N_2 ส่วนการดึงไนเตรทไปใช้โดย phytoplankton ถือว่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับการนำไปใช้ในรูปแอมโมเนียมในน้ำจึงไม่พิจารณาในส่วนนี้ นอกจากนี้ก็คิดการเคลื่อนที่ของไนโตรเจนในน้ำรายวันรวมด้วยดังสมการที่ 49 – 55 ดังนี้คือ

$$N^i = \phi_{N1}^i \times e^{(-\beta)\Delta t} + (\phi_{N2}^i + \phi_{N3}^i + \phi_{N4}^i + \phi_{N5}^i) \times e^{(-\beta)\Delta t/2} \quad (49)$$

เมื่อ N^i คือความเข้มข้นของ NO_3-N ในน้ำที่ท่วมขังในนาข้าววันที่ i ($mg l^{-1}$)

ϕ_{N1}^i คือความเข้มข้น NO_3-N ที่เหลือจากน้ำในนาข้าววันที่ i-1 ($mg l^{-1}$) ดังสมการที่ 50

ϕ_{N2}^i คือความเข้มข้น NO_3-N ที่เกิดจากน้ำชลประทานวันที่ i ($mg l^{-1}$) ดังสมการที่ 51

ϕ_{N3}^i คือความเข้มข้น NO_3-N ที่เกิดจากฝนวันที่ i ($mg l^{-1}$) ดังสมการที่ 52

ϕ_{N4}^i คือความเข้มข้น NO_3-N ที่เกิดจากการสลายตัวจากปุ๋ยและแพร่กระจายสู่น้ำวันที่ i ($mg l^{-1}$) ดังสมการที่ 53

ϕ_{N5}^i คือความเข้มข้น NO_3-N ที่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันวันที่ i ($mg l^{-1}$) ดังสมการที่ 54

β คือค่า denitrification rate constant (d^{-1}) ดังสมการที่ 55

$$\phi_{N1}^i = \frac{WD^{i-1}}{WD^{i-1} - E^i} \times \frac{WD^i - P^i - I^i}{WD^i} \cdot N^{i-1} \quad (50)$$

เมื่อ N^{i-1} คือความเข้มข้นของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในน้ำขำวันที่ $i-1$ (mg l^{-1})

$$\phi_{N_2}^i = \frac{\Gamma^i}{\text{WD}^i} \times C_{N_2}^i \quad (51)$$

เมื่อ $C_{N_2}^i$ คือความเข้มข้นของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในน้ำชลประทานที่ให้วันที่ i (mg l^{-1})

$$\phi_{N_3}^i = \frac{P^i}{\text{WD}^i} \times C_{N_3}^i \quad (52)$$

เมื่อ $C_{N_3}^i$ คือความเข้มข้นของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในน้ำฝนที่ตกลงมาในวันที่ i (mg l^{-1})

$$\phi_{N_4}^i = \Delta \times C_{\text{FN}^i} \quad (53)$$

เมื่อ $C_{N_5}^i$ คือความเข้มข้นทั้งหมดของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่สลายตัวจากปุ๋ยในวันที่ i (mg l^{-1})

$$\phi_{N_5}^i = [1 - e^{(-\alpha)\Delta t}] \times \phi_{\text{HI}}^i + [1 - e^{(-\alpha)\Delta t/2}] \times (\phi_{\text{H}_2}^i + \phi_{\text{H}_3}^i + \phi_{\text{H}_4}^i) \quad (54)$$

$$\beta = \left(\frac{B}{\text{WD}^i} \right) \times \theta^{\text{WT}^i - 20} \quad (55)$$

เมื่อ B คือค่า denitrification rate coefficient (m d^{-1})

จากสมการที่ 41- 54 มีค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าจำนวน 5 พารามิเตอร์คือ A, B, Γ, θ และ Δ สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ใช้วิธีหาค่าความเหมาะสมทางคณิตศาสตร์จากการสมมติค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองให้อยู่ในช่วงที่มีการแนะนำไว้ ต่อมาคำนวณให้ค่าความเข้มข้นต่างๆ ที่พิจารณาจากแบบจำลองและค่าที่ทำการวัดจากนาข้าวมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด นำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังกล่าวไปใช้หาค่าความเข้มข้นในวันที่ไม่ได้เก็บข้อมูล เมื่อได้ข้อมูลครบทุกวันที่น้ำท่วมขังแล้วทำการคำนวณหาการรั่วซึมของสารจากนาข้าวไปกับน้ำใต้ดินจากสมการซึ่ง Chowdary *et al.* (2004) เสนอว่าการคำนวณปริมาณน้ำที่รั่วซึมในดินสามารถหาได้จากสมคูลน้ำในดิน ขณะที่ปริมาณไนเตรท

ที่ชะล้างไปกับน้ำออกนอกเขตรากพืชเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่รั่วซึมในดิน โดยคำนวณจากสมการที่ 56 ดังนี้

$$LEANO_3 = DP \times NO_3 \quad (56)$$

เมื่อ $LEANO_3$ คือ ปริมาณ ไนเตรทที่ถูกชะล้างจากเขตรากพืช
 DP คือ จำนวนน้ำที่รั่วซึมเลยเขตรากพืช (deep percolation)
 NO_3 คือ ความเข้มข้นของไนเตรท

ผลและวิจารณ์

จากการเก็บข้อมูลคุณภาพดิน น้ำและอากาศในพื้นที่ทดลองทั้งสองฤดูเพาะปลูกและทำการวิเคราะห์ มีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้คือ

1. การจัดการน้ำในนาข้าว

ผลการจัดการน้ำในนาข้าวทั้ง 5 เงื่อนไขในสองฤดูแสดงดังภาพที่ 18 และ 19 โดยปริมาณน้ำต่างๆ ที่ใช้ในนาข้าวสำหรับการจัดการน้ำแบบน้ำตื้นทั้งสองช่วงเวลา (10-5 cm., SS), การจัดการน้ำแบบน้ำตื้นต่อด้วยแบบเปียกสลับแห้ง (10-5 cm. ต่อด้วย 5- - 5 cm., SA), การจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งต่อด้วยแบบน้ำตื้น (5- -5cm. ต่อด้วย 10-5 cm., AS), การจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งทั้งสองช่วง (5- -5cm., AA) และการจัดการน้ำแบบดั้งเดิม (30-20 cm., TT) ในฤดูที่ 1 และ 2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 9 และ 11 ตามลำดับดังนี้คือ

1.1 ฤดูที่ 1

ก) ปริมาณน้ำที่ใช้ไปในส่วนต่างๆ

ข้อมูลการจัดการน้ำในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำแบบต่างๆ ในการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ แสดงในตารางผนวกที่ 2- 16 และปริมาณการใช้น้ำสำหรับการจัดการน้ำต่างๆ แสดงในตารางผนวกที่ 17 ทั้งนี้ได้แบ่งเป็นปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ ปริมาณฝนที่ระบายทิ้งในต้นฤดูตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 19 วันหลังหว่านข้าว ปริมาณฝนที่ระบายทิ้งระหว่างฤดูตั้งแต่วันที่ 20 ถึง 103 วันหลังหว่านข้าว ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งก่อนการเก็บเกี่ยว ปริมาณฝนที่ระบายทิ้งในปลายฤดูตั้งแต่วันที่ 104 ถึง 124 วันหลังหว่านข้าว ปริมาณฝนใช้การ ปริมาณน้ำที่รั่วซึมและคายระเหย รวมทั้งปริมาณน้ำใช้ทั้งหมด จากผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และใช้ F-test ในการทดสอบความมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าการทดลองทั้ง 3 ซ้ำภายในแต่ละเงื่อนไขการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการทดลองทั้ง 5 เงื่อนไขที่แตกต่างกันพบว่าการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS, AA และ TT มีปริมาณน้ำฝนที่ระบายออกจากพื้นที่ทั้งหมดในช่วงต้นฤดูของการเพาะปลูกคือก่อนการส่งน้ำและน้ำฝนที่ระบายในช่วงปลายฤดูมีค่าเท่ากันในทุกการจัดการน้ำคือ 32.8 และ 258.6 มิลลิเมตรตามลำดับ

ส่วนปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งระหว่างฤดูของการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีค่า 143.5, 74.3, 143.5, 0 และ 694.2 มิลลิเมตรตามลำดับ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์พบว่าเงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ยกเว้นการจัดการน้ำแบบ SS และ AS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ค่า Mean Square of Error (M.S.E.) ของการทดลองเท่ากับ 0.31 โดยค่าของการจัดการน้ำแบบ TT มีค่าสูงกว่าแบบอื่นๆ มาก เป็นเพราะมีทั้งการระบายน้ำชลประทานในช่วงก่อนมีการใส่ปุ๋ยซึ่งทำให้มีการสูญเสียน้ำออกไปมากกว่ารวมทั้งมีการระบายน้ำฝนด้วย ขณะที่การจัดการน้ำอื่นๆ มีการระบายน้ำฝนเพียงอย่างเดียวและการที่มีน้ำในในระดับต่ำในช่วงฝนตกทำให้มีพื้นที่ในการเก็บกักฝนไว้ใช้งานได้มากจึงมีการระบายน้ำทิ้งน้อยลง ทั้งนี้จากปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งในการจัดการน้ำแบบ TT อาจกล่าวได้ว่าการที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างพอเพียงจึงทำให้เกษตรกรใช้น้ำแบบไม่ประหยัด อย่างไรก็ตามการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีการควบคุมระดับน้ำสูงสุดในนาข้าวทำให้ต้องมีการระบายน้ำฝนทิ้ง ดังนั้นเพื่อให้เป็นแนวทางในการปฏิบัติมากขึ้นควรมี flexible ในการเก็บน้ำเพื่อให้สามารถนำฝนมาใช้งานได้มากกว่า

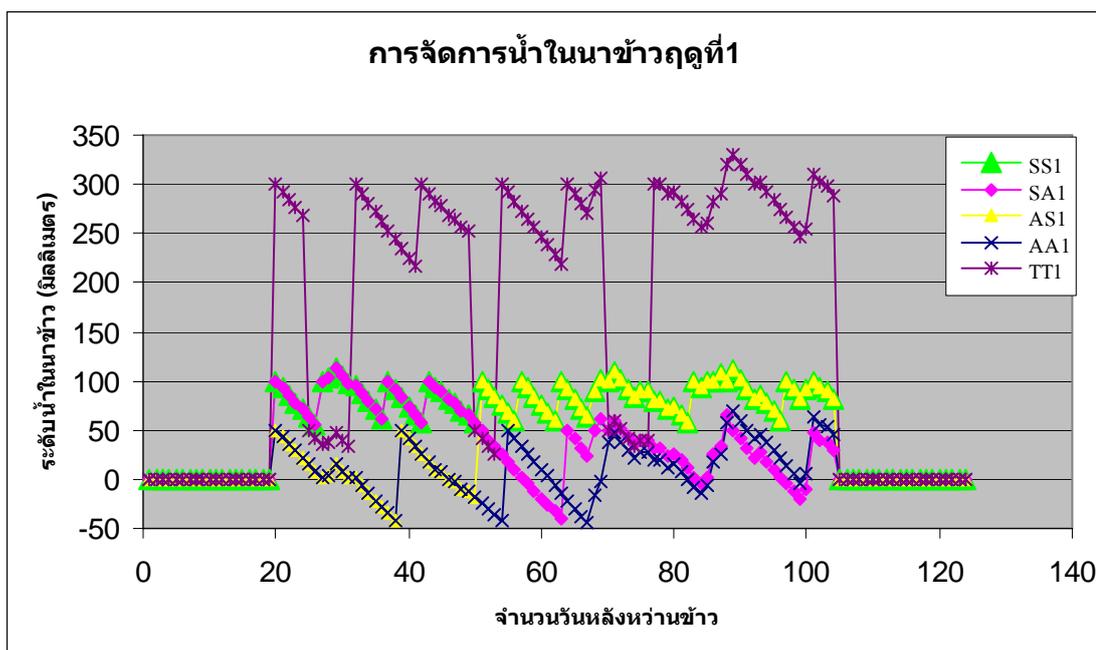
สำหรับปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งก่อนเก็บเกี่ยวของการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีค่า 81.0, 28.9, 81.1, 44.9 และ 288.4 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าเงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับปริมาณน้ำทิ้งระหว่างฤดูคือมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ยกเว้นการจัดการน้ำแบบ SS และ AS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ M.S.E. ของการทดลองเท่ากับ 0.11 โดยการจัดการน้ำแบบ TT มีการระบายน้ำทิ้งในช่วงนี้มากกว่าเงื่อนไขอื่นๆ เพราะมีระดับน้ำที่เก็บกักไว้ในนาข้าวสูงกว่าแบบอื่นๆ นั่นเอง

อนึ่งปริมาณฝนใช้การของการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีค่า 311.8, 380.7, 311.0, 455.3 และ 413.6 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าเงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ยกเว้นการจัดการน้ำแบบ SS และ AS มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทั้งนี้มีค่า M.S.E. ของการทดลองเท่ากับ 0.13 โดยการจัดการน้ำแบบ AA และ TT มีปริมาณฝนใช้การมากกว่าแบบอื่นๆ ทั้งนี้เพราะการจัดการน้ำแบบ TT ถูกกำหนดขีดบนของระดับน้ำไว้สูง ถ้าในนาข้าวมีระดับน้ำลดลงมากสามารถรับน้ำฝนไว้ได้สูงสุดประมาณ 100 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับจังหวะในการจัดการน้ำเช่นกัน ถ้าในช่วงที่ฝนตกลงมาและในนามีน้ำในระดับสูง จะมีการระบายน้ำทิ้งออกมาก ส่วนการจัดการน้ำแบบ AA ไม่มีการระบายน้ำทิ้งระหว่างฤดู ทั้งนี้เพราะระดับน้ำในช่วงต่างๆ พร่องลงมากในวันที่มีฝนตก ทำให้ระดับน้ำไม่เกินที่กำหนดไว้จึงไม่มีการระบายน้ำฝนทิ้ง

นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปสำหรับการรั่วซึมและการคายระเหยรวมกันของการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีค่า 728.8, 657.9, 639.5, 577.8 และ 794.0 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ทั้งนี้ค่า M.S.E. ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 3.6 โดยการจัดการน้ำที่มีการท่วมขังน้อยกว่าจะใช้น้ำสำหรับการคายระเหยและรั่วซึมน้อยกว่า ซึ่งการจัดการน้ำแบบ AA และ TT ให้อ่าน้อยที่สุดและมากที่สุดตามลำดับ

ในภาพรวมของการจัดการน้ำพบว่าการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งหรือ AA มีการใช้น้ำชลประทานน้อยที่สุดคือ 185.4 มิลลิเมตร การจัดการน้ำแบบ SA, AS, SS ใช้น้ำมากขึ้นตามลำดับคือ 324.1, 427.6 และ 515.9 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนการจัดการน้ำแบบดั้งเดิมหรือ TT ใช้น้ำชลประทานมากที่สุดคือ 1,321.5 มิลลิเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ TT พบว่าการให้น้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ลดการใช้น้ำชลประทานลงได้ประมาณ 60.9, 75.5, 67.6 และ 85.9% ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % มีค่า M.S.E. เท่ากับ 2.4 ส่วนปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดพบว่าการให้น้ำแบบ SS, SA, AS, AA และ TT มีค่า 827.8, 704.9, 738.6, 640.7 และ 1735.0 มิลลิเมตรตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ TT พบว่าการให้น้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ลดปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดลงได้ประมาณ 52.3, 59.4, 57.4 และ 63.1% ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % มีค่า M.S.E. เท่ากับ 3.0

ทั้งนี้สาเหตุของการประหยัดน้ำในการจัดการน้ำแบบต่างๆทั้ง 4 แบบเมื่อเทียบกับแบบดั้งเดิมส่วนหนึ่งมาจากการรั่วซึมเป็นหลักและการคายระเหยเล็กน้อย โดยค่าลดลงประมาณ 8.2, 17.1, 19.4 และ 27.2 % ตามลำดับ โดยเฉพาะเมื่อมีระดับน้ำท่วมขังในนาข้าวมากขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความดันในการไหลของน้ำในดินมากขึ้นทำให้มีการรั่วซึมเพิ่มขึ้น สำหรับการลดลงจากน้ำที่ระเหยระหว่างฤดูมีค่าประมาณ 79.3, 89.3, 79.2 และ 100% ตามลำดับการลดลงของน้ำที่ระเหยในส่วนนี้ของการจัดการน้ำแบบ SS และ AS มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะมีการระบายน้ำในช่วงที่ I_3 ของการเจริญเติบโตของพืชซึ่งมีการให้น้ำแบบน้ำดินเหมือนกันเท่านั้น และจากการให้น้ำในช่วง I_3 มีการเริ่มต้นให้น้ำที่ระดับและเวลาใกล้เคียงกันในทั้งสองการจัดการน้ำ ดังนั้นค่าปริมาณน้ำที่ปลายฤดูและปริมาณฝนใช้การจึงมีค่าใกล้เคียงกันแต่การใช้น้ำรวมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ในช่วง I_2 นอกจากนี้การประหยัดน้ำยังเกิดจากการลดลงของน้ำที่ระเหยทิ้งก่อนการเก็บเกี่ยวซึ่งมีค่าประมาณ 71.9, 89.9, 71.9 และ 84.4% ตามลำดับอีกด้วย



ภาพที่ 18 การจัดการน้ำต่างๆ ในนาข้าวฤดูที่ 1 โดยที่ SS1 หมายถึงการจัดการน้ำแบบSS ฤดูที่ 1

ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำที่ใช้ในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ ในฤดูที่ 1

ปริมาณน้ำเป็นมิลลิเมตร

	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1				
	SS1	SA1	AS1	AA1	TT1
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงต้นฤดู	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8
ปริมาณน้ำที่ระบายระหว่างฤดู	143.4	74.6	144.3	0.0	694.2
ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งก่อนเก็บเกี่ยว	81.0	29.0	81.1	44.9	288.4
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงปลายฤดู	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6
ปริมาณน้ำในการคายระเหยและรั่วซึม	728.8	657.9	639.5	577.8	794.0
ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งทั้งหมด	515.8	394.9	516.8	336.3	1274.0
ปริมาณน้ำชลประทาน	515.9	324.1	427.6	185.4	1321.3
ปริมาณน้ำฝนใช้การ	311.9	380.7	311.0	455.3	413.5
ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด	827.8	704.8	738.6	640.7	1734.8
ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดที่ลดลง(%)	52.3	59.4	57.4	63.1	0.0

ข) ประสิทธิภาพการใช้น้ำ

การจัดการน้ำทั้ง 5 แบบคือ SS, SA, AS, AA และ TT ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยดังตารางที่ 10 ทั้งนี้ผลผลิตข้าวในแต่ละซ้ำของการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งค่าผลผลิตเฉลี่ยทั้ง 5 ซ้ำมีค่า 760, 880, 840, 840 และ 716 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ โดยที่ปริมาณน้ำรวมมีค่า 1324.4, 1127.7, 1181.8, 1025.1 และ 2776.1 $\text{m}^3/\text{ไร่}$ ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการใช้น้ำในแต่ละซ้ำของการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามผลจากทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ทั้งนี้ M.S.E ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.1 โดยค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้น้ำมีค่า 0.57, 0.78, 0.71, 0.82 และ 0.26 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งหรือ AA มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด รองลงมาได้แก่แบบ SA, AS และแบบ SS ตามลำดับ ขณะที่การจัดการน้ำแบบดั้งเดิมหรือ TT มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด และจากการเปรียบเทียบกับแบบ TT พบว่าการจัดการน้ำแบบอื่นๆ ภายใต้อาณาเขตการทดลองให้ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 122.5 – 217.7%

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆในฤดูที่ 1

การจัดการน้ำ	ช่วงให้น้ำ (วัน)	ผลผลิต (กก./ไร่)	ปริมาณน้ำ ($\text{m}^3/\text{ไร่/วัน}$)	ปริมาณน้ำรวม ($\text{m}^3/\text{ไร่}$)	ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (กก./ m^3)	เพิ่มขึ้น %
SS1	84	760	15.77	1324.4	0.57	122.48
SA1	84	880	13.43	1127.7	0.78	202.55
AS1	84	840	14.07	1181.8	0.71	175.58
AA1	84	840	12.20	1025.1	0.82	217.72
TT1	84	716	33.05	2776.1	0.26	0.00

1.2 ฤดูที่ 2

ก) ปริมาณน้ำที่ใช้ไปในส่วนต่างๆ

ข้อมูลการจัดการน้ำในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำแบบต่างๆ ในการทดลองทั้ง 3 ไร่ แสดงในตารางผนวกที่ 18 - 32 และปริมาณการใช้น้ำสำหรับการจัดการน้ำต่างๆ แสดงในตาราง ภาคผนวกที่ 33 ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำต่างๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับฤดูที่ 1 คือการทดลองทั้ง 3 ไร่ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการทดลอง ทั้ง 5 ไร่คือการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS, AA และ TT มีปริมาณน้ำฝนที่ระบายออกจากพื้นที่ ทั้งหมดในช่วงต้นของการเพาะปลูกคือก่อนการส่งน้ำและน้ำฝนที่ระบายในช่วงปลายฤดูมีค่าเท่ากัน ในทุกการจัดการน้ำคือ 224.1 และ 19.6 มิลลิเมตรตามลำดับ

ส่วนปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งระหว่างฤดูของการจัดการทั้ง 5 แบบมีค่า 67.1, 34.9, 68.5, 36.4 และ 626.1 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าเงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ยกเว้นการจัดการน้ำแบบ SS และ AS รวมทั้งการจัดการน้ำแบบ SA และ AA มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทั้งนี้ค่า M.S.E. ของการทดลอง เท่ากับ 0.49 โดยค่าจากการจัดการน้ำแบบ TT มีค่าสูงกว่าแบบอื่นๆ มากเช่นเดียวกับในฤดูที่ 1 เป็นเพราะมีทั้งการระบายน้ำชลประทานในช่วงก่อนมีการใส่ปุ๋ยซึ่งทำให้มีการสูญเสียน้ำออกไปมาก รวมทั้งมีการระบายน้ำฝนด้วย ขณะที่การจัดการน้ำอื่นๆมีการระบายน้ำฝนเพียงอย่างเดียวและการที่มีน้ำในนาในระดับต่ำในช่วงฝนตกทำให้มีพื้นที่ในการเก็บกักฝนไว้ใช้งานได้มากจึงมีการระบายน้ำทิ้งน้อยลง

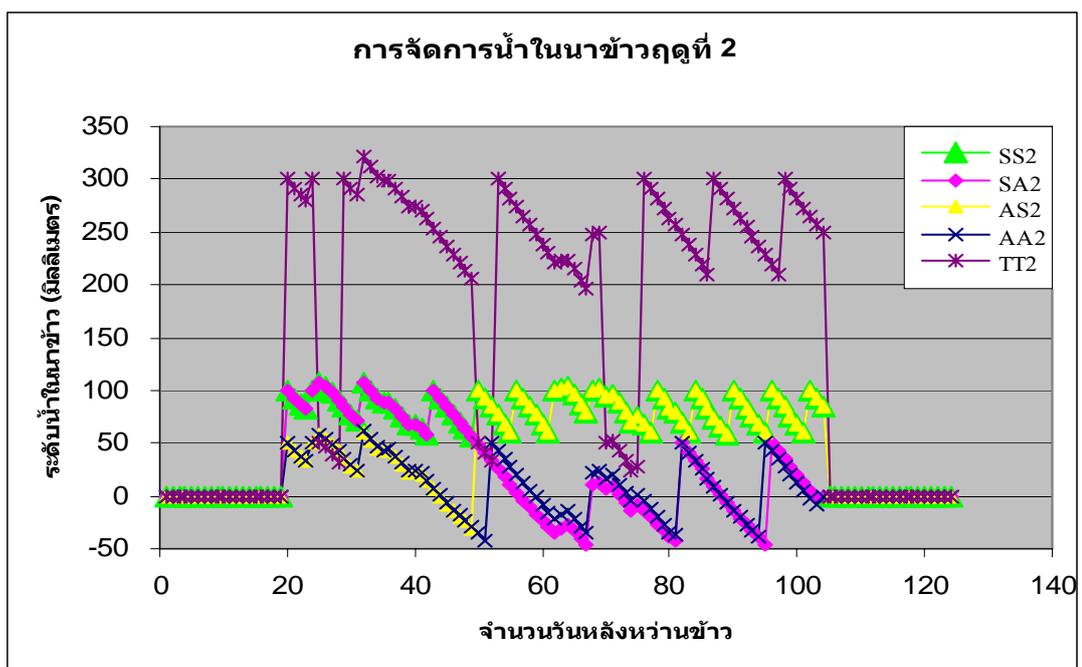
สำหรับปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งก่อนเก็บเกี่ยวของการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีค่า 84.9, 0, 84.7, 0 และ 248.7 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าเงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งระหว่างฤดูคือมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ยกเว้นการจัดการน้ำแบบ SS และ AS รวมทั้งการจัดการน้ำแบบ SA และ AA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ M.S.E. ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.23 โดยการจัดการน้ำแบบ TT มีการระบายน้ำทิ้งในช่วงนี้ มากกว่าแบบอื่นๆ เพราะมีระดับน้ำที่เก็บกักไว้ในนาข้าวสูงกว่าแบบอื่นๆ นั่นเอง

ทั้งนี้ปริมาณฝนใช้การของการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีค่า 223, 255.2, 221.6, 253.8 และ 258.9 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % มีค่า M.S.E. ของการทดลองเท่ากับ 0.11 โดยการจัดการน้ำแบบ AA และ TT มีปริมาณฝนใช้การมากกว่าแบบอื่นๆ เพราะการจัดการน้ำแบบ TT ถูกกำหนดขีดบนของระดับน้ำไว้สูง ในขณะที่ในนาข้าวมีระดับน้ำลดลงมากสามารถรับน้ำฝนไว้ได้สูงสุดประมาณ 100 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับจังหวะในการจัดการน้ำเช่นกัน ถ้าในช่วงที่ฝนตกลงมาและในนามีน้ำในระดับสูง จะมีการระบายน้ำที่ออกมาก ส่วนการจัดการน้ำแบบ AA ไม่มีการระบายน้ำที่ระหว่างฤดูเพราะระดับน้ำในช่วงต่างๆ พร่องลงมากในวันที่มีฝนตก ทำให้ระดับน้ำไม่เกินที่กำหนดไว้จึงไม่มีการระบายน้ำฝนทิ้ง

นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ลดลงจากการรั่วซึมและการคายระเหยรวมกันของการจัดการน้ำทั้ง 5 แบบมีค่า 694.3, 538.1, 648.9, 491.5 และ 754.9 มิลลิเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ทั้งนี้ M.S.E. ของการทดลองเท่ากับ 0.89 โดยการจัดการน้ำที่มีการท่วมขังน้อยกว่าจะใช้น้ำสำหรับการคายระเหยและรั่วซึมน้อยกว่า ซึ่งการจัดการน้ำแบบ AA และ TT ให้ค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดตามลำดับ

ในภาพรวมของการจัดการน้ำพบว่าการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งหรือ AA มีการใช้น้ำชลประทานน้อยที่สุดคือ 237.8 มิลลิเมตร การจัดการน้ำแบบ SA, AS, SS ใช้น้ำมากขึ้นตามลำดับคือ 282.9, 512.0 และ 556.2 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนการจัดการน้ำแบบดั้งเดิมหรือ TT ใช้น้ำชลประทานมากที่สุดคือ 1,059.1 มิลลิเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ TT พบว่าการให้น้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ลดการใช้น้ำชลประทานลงได้ประมาณ 47.5, 73.3, 51.7 และ 77.6% ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ทั้งนี้ M.S.E. ของการทดลองเท่ากับ 2.4 ส่วนปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดพบว่าการให้น้ำแบบ SS, SA, AS, AA และ TT มีค่า 779.2, 558.1, 733.6, 491.5 และ 1317.9 มิลลิเมตรตามลำดับและจากการวิเคราะห์พบว่าเงื่อนไขต่างๆ ของการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ยกเว้นการจัดการน้ำแบบ SS และ AS รวมทั้งการจัดการน้ำแบบ SA และ AA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ M.S.E. ของการทดลองเท่ากับ 0.67 และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ TT พบว่าการให้น้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ลดปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดลงได้ประมาณ 40.9, 59.2, 44.3 และ 62.7% ตามลำดับ

ทั้งนี้การประหยัดน้ำในการจัดการน้ำแบบต่างๆ ทั้ง 4 แบบเมื่อเทียบกับแบบดั้งเดิม คล้ายฤดูที่ 1 ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการรั่วซึมและการคายระเหยที่ลดลงประมาณ 8.0, 28.7, 14.0 และ 34.9 % ตามลำดับ สำหรับการลดลงจากน้ำที่ระบายระหว่างฤดูประมาณ 89.3, 94.4, 89.1 และ 94.1% ตามลำดับ การลดลงของน้ำที่ระบายในส่วนนี้ของการจัดการน้ำแบบ SS และ AS มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะมีการระบายน้ำในช่วงที่ I_3 ของการเจริญเติบโตของพืชซึ่งมีการให้น้ำแบบน้ำตื้นเหมือนกันเท่านั้น และจากการให้น้ำในช่วง I_3 มีการเริ่มต้นให้น้ำที่ระดับและเวลาใกล้เคียงกันในทั้งสอง การจัดการน้ำค่าปริมาณน้ำที่ปลายฤดูและปริมาณฝนใช้การจึงมีค่าใกล้เคียงกันแต่การใช้น้ำรวมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ในช่วง I_2 นอกจากนี้การประหยัดน้ำยังเกิดจากการลดลงของน้ำที่ระบายทิ้งก่อนการเก็บเกี่ยวซึ่งมีค่าประมาณ 65.9, 100, 65.9 และ 100% ตามลำดับอีกด้วย



ภาพที่ 19 การจัดการน้ำต่างๆ ในนาข้าวฤดูที่ 2 โดยที่SS2 หมายถึงการจัดการน้ำแบบSS ฤดูที่ 2

ตารางที่ 11 ปริมาณน้ำที่ใช้ในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ ในฤดูที่ 2

	ปริมาณน้ำเป็นมิลลิเมตร				
	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2				
	SS2	SA2	AS2	AA2	TT2
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงต้นฤดู	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1
ปริมาณน้ำที่ระบายระหว่างฤดู	67.1	34.9	68.5	36.4	626.1
ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งก่อนเก็บเกี่ยว	84.9	0.0	84.7	0.0	248.7
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงปลายฤดู	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6
ปริมาณน้ำในการคายระเหยและรั่วซึม	694.3	538.1	648.9	491.5	754.9
ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งทั้งหมด	395.7	278.6	396.9	280.1	1118.5
ปริมาณน้ำชลประทาน	556.2	282.9	512.0	237.8	1059.1
ปริมาณน้ำฝนใช้การ	223.0	255.2	221.6	253.8	258.9
ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด	779.2	538.1	733.6	491.5	1318.0
ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดที่ลดลง(%)	40.9	59.2	44.3	62.7	0.0

ข) ประสิทธิภาพการใช้น้ำ

การจัดการน้ำทั้ง 5 แบบคือ SS, SA, AS, AA และ TT ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยดังตารางที่ 12 ทั้งนี้ผลผลิตข้าวในแต่ละซ้ำของการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และผลผลิตเฉลี่ยมีค่า 776, 884, 860, 876 และ 724 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ โดยที่ปริมาณน้ำรวมมีค่า 1246.7, 861.0, 1173.8, 786.4 และ 2108.7 ม³/ไร่ ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการใช้น้ำในแต่ละซ้ำของการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน แต่ทุกเงื่อนไขการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ทั้งนี้ M.S.E ของการทดลองเท่ากับ 0.1 และค่า C.V. เท่ากับ 0.29 % รวมทั้งค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้น้ำมีค่า 0.62, 1.03, 0.73, 1.11 และ 0.34 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งหรือ AA มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด รองลงได้แก่แบบ SA, AS และแบบ SS ตามลำดับ ขณะที่การจัดการน้ำแบบ TT มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด และจากการเปรียบเทียบกับแบบ TT การจัดการน้ำแบบอื่นๆ ภายใต้ง่อนไขการทดลองให้ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 122.5 – 217.7%

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยในนาข้าวที่การจัดการน้ำเงื่อนไขต่างๆ ในฤดูที่ 2

การจัดการน้ำ	ช่วงให้น้ำ (วัน)	ผลผลิต (กก./ไร่)	ปริมาณน้ำ (ม ³ /ไร่/วัน)	ปริมาณน้ำรวม (ม ³ /ไร่)	ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (กก./ม ³)	เพิ่มขึ้น %
SS2	84	776	14.84	1246.7	0.62	81.29
SA2	84	884	10.25	861.0	1.03	199.04
AS2	84	860	13.97	1173.8	0.73	113.41
AA2	84	876	9.37	786.4	1.11	224.44
TT2	84	724	25.10	2108.7	0.34	0.00

1.3 เปรียบเทียบปริมาณน้ำและประสิทธิภาพการใช้น้ำในการจัดการน้ำทั้ง 2 ฤดู

สำหรับเงื่อนไขการจัดการน้ำแบบต่างๆ พบว่า ในนาข้าวฤดูที่ 1 ได้รับน้ำฝนมีปริมาณ 746.7 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าในฤดูที่ 2 ที่ได้รับ 533.8 มิลลิเมตร โดยในช่วงต้นการปลูกข้าวฤดูที่ 1 มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าฤดูที่ 2 จึงมีการระบายน้ำทิ้งมากกว่า ขณะที่ปลายฤดูการปลูกข้าวฤดูที่ 2 ได้รับน้ำฝนมากกว่า ส่วนระหว่างฤดูพบว่าฤดูที่ 1 ได้รับน้ำฝนมากกว่าฤดูที่ 2 อย่างไรก็ตามในฤดูที่ 1 มีจำนวนวันที่ฝนตกมากและมีปริมาณมากในช่วงต้นของระหว่างฤดูคือในช่วงการให้น้ำ I₂ แต่ฤดูที่ 2 มีจำนวนวันที่ฝนตกมากและมีปริมาณมากในช่วงปลายของระหว่างฤดูคือในช่วงการให้น้ำ I₃ ดังนั้นเมื่อพิจารณาการจัดการน้ำแบบต่างๆ พบว่านาข้าวในฤดูที่ 1 มีการระบายน้ำฝนทิ้งในช่วง I₃ มากกว่าฤดูที่ 2 ขณะที่ในฤดูที่ 2 มีการระบายน้ำฝนทิ้งในช่วง I₂ มากกว่าฤดูที่ 1 ส่วนปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ในฤดูที่ 1 มีการใช้น้ำชลประทานมากกว่า การใช้น้ำปริมาณน้ำในฤดูต่างๆ ขึ้นอยู่กับความพร้อมของน้ำในนาข้าว ปริมาณฝนที่ตกลงมา ระดับที่ควบคุม ดังนั้นในช่วงที่ควบคุมให้น้ำในระดับสูงแต่น้ำในนาพร้อมลงมากเมื่อมีฝนตกลงมาสามารถใช้น้ำได้มาก ระบายน้ำทิ้งน้อย ถ้าหากไม่มีฝนตกหรือตกน้อยทำให้ต้องเพิ่มน้ำชลประทานมากขึ้น จากการทดลองปริมาณการใช้น้ำรวมของแต่ละเงื่อนไขในฤดูที่ 1 มีค่ามากกว่าในฤดูที่ 2 เล็กน้อยอย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการใช้น้ำทั้ง 2 ฤดูของแต่ละเงื่อนไขไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ รวมทั้งผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้น้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน

ดังนั้นการจัดการน้ำแบบต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขการทดลองจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการประหยัดน้ำใช้ในนาข้าวได้ โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในเงื่อนไขที่ AA < SA < AS < SS และเงื่อนไขที่ TT ใช้น้ำมากที่สุดในขณะที่ผลผลิตของข้าวไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

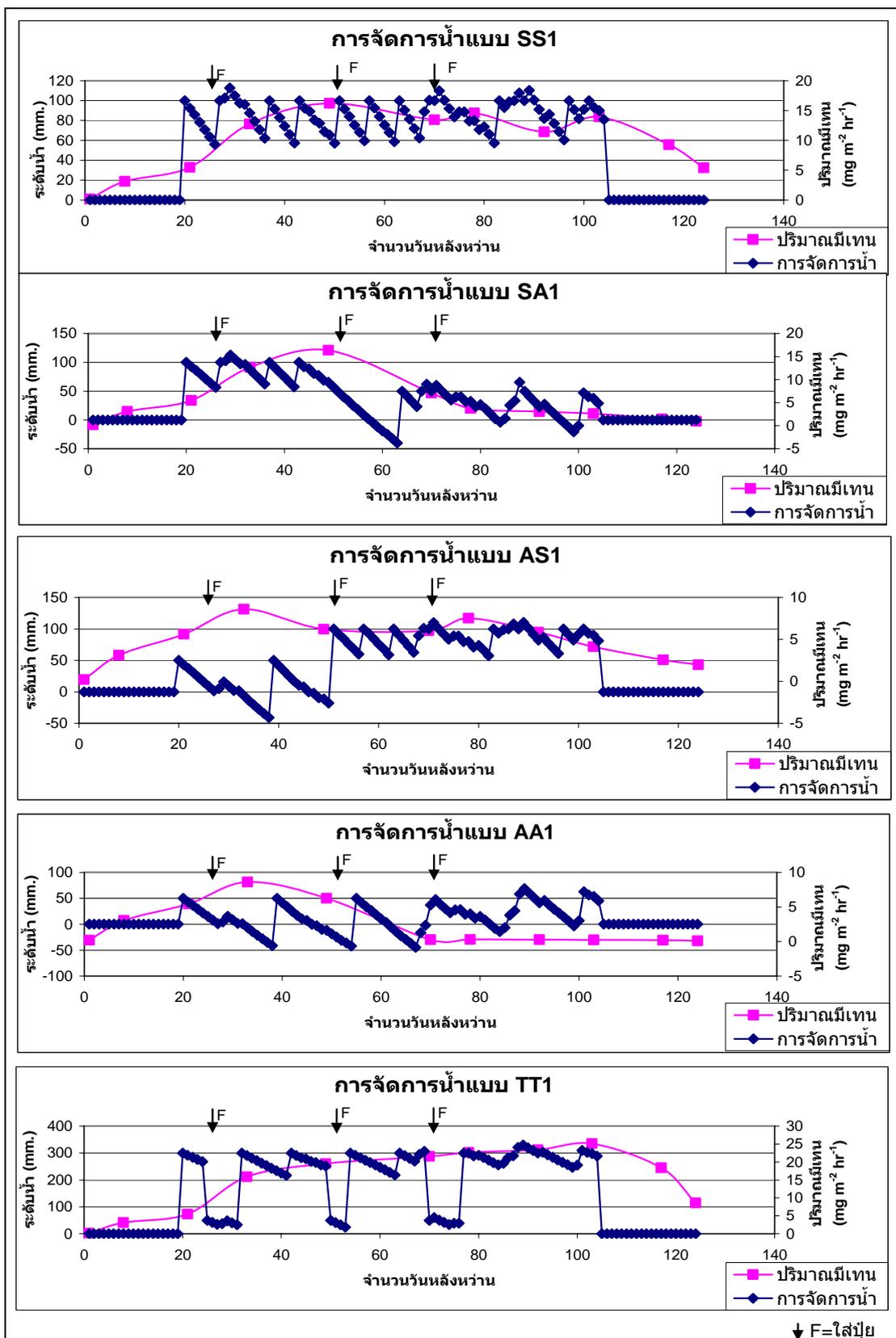
2. ปริมาณก๊าซมีเทนที่แพร่กระจายในนาข้าว

2.1 ผลการจัดการน้ำต่อปริมาณก๊าซมีเทนจากการทดลอง

ผลทดลองการจัดการน้ำในนาข้าวที่แตกต่างกันทั้ง 5 เงื่อนไขจำนวน 3 ซ้ำทั้งฤดูที่ 1 และ 2 แสดงในตารางผนวกที่ 34 และ 35 ตามลำดับ ให้ค่าการแพร่กระจาย (flux) ของก๊าซมีเทนที่เกิดในนาข้าวสู่บรรยากาศในแต่ละซ้ำภายใต้เงื่อนไขการทดลองใดๆ ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% แต่ผลระหว่าง 5 เงื่อนไขในทั้ง 2 ฤดูพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยมีค่า mean square of treatment (M.S.A.) และ ค่า M.S.E. เท่ากับ 744 และ 0.1 ในฤดูที่ 1 รวมทั้ง 603 และ 0.1 ในฤดูที่ 2 ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของการแพร่กระจายของมีเทนที่เวลาต่างๆ ในการแต่ละการจัดการน้ำฤดูที่ 1 และ 2 แสดงดังภาพที่ 20 และ 21 ตามลำดับ ซึ่งข้าวฤดูที่ 1 มีค่า flux ตามเงื่อนไข SS, SA, AS, AA และ TT โดยเฉลี่ย 31.9, 19.1, 15.8, 8.7 และ 39.9 g m⁻² crop⁻¹ ตามลำดับ ส่วนฤดูที่ 2 มีค่าโดยเฉลี่ย 28.9, 17.4, 14.3, 7.2 และ 39.3 g m⁻² crop⁻¹ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดมีเทนในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละการจัดการน้ำใน 2 ฤดู แสดงดังตารางที่ 13 และ 14 พบว่าสำหรับฤดูที่ 1 ช่วงต้นฤดูที่มีการเก็บข้อมูลในวันที่ 1, 8, 21 วัน หลังหว่าน ค่าในแต่ละเงื่อนไขการจัดการน้ำไม่มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงที่มีดินแห้งและเริ่มปล่อยน้ำในช่วงสั้นๆ เหมือนกันรวมทั้งค่าการรั่วซึมและระเหยของน้ำใกล้เคียงกัน การเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในดินและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนยังมีค่าน้อยไม่แตกต่างกัน ต่อมาในวันที่ 33 และ 49 หลังหว่านซึ่งอยู่ในช่วง I₂ ของการจัดการน้ำ พบว่าผลจากเงื่อนไข SS และ AA รวมทั้ง AS และ AA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงที่มีการจัดการน้ำแบบน้ำตื้นและแบบเปียกสลับแห้งเหมือนกันนั่นเอง หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จากเก็บในวันที่ 70, 78, 92, 103, 117 และ 124 หลังหว่านทั้ง 5 เงื่อนไขมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ทั้งๆ ที่เงื่อนไข 1 และ 3 รวมทั้งเงื่อนไข 2 และ 4 มีการจัดการน้ำในช่วงนี้เหมือนกันแต่เพราะก่อนหน้านี้อธิบายในช่วง I₂ มีการจัดการน้ำที่แตกต่างซึ่งส่งผลต่อเนื่องให้มีปริมาณมีเทนแตกต่างกัน ค่าในและวันของมีเทนในแต่ละเงื่อนไขฤดูที่ 2 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับฤดูที่ 1 สำหรับ

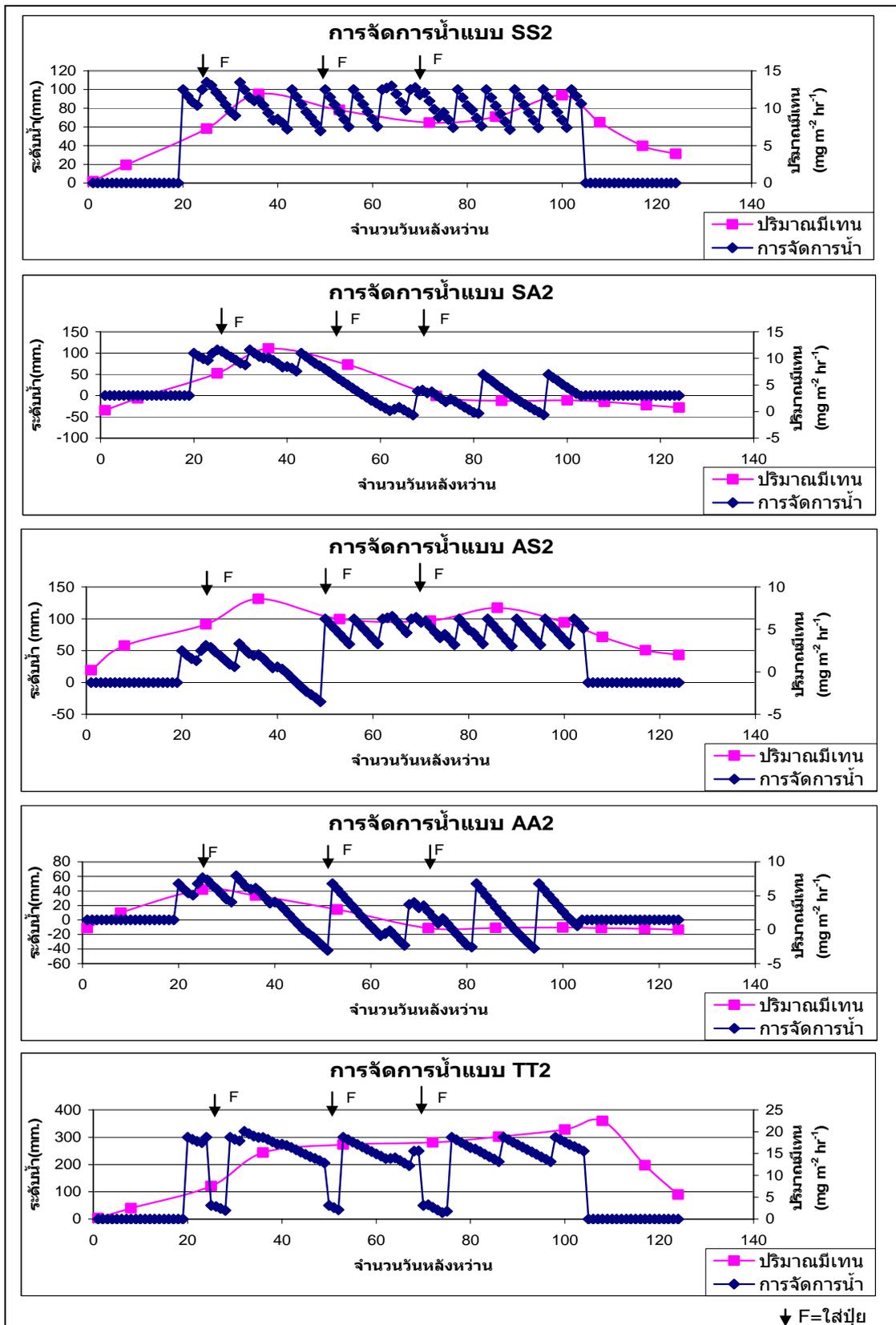
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแพร่กระจายมีเทนในฤดูที่ 1 และ 2 มีค่า 5.3, 5.1, 2.5, 3.1, 8.9 และ 3.7, 3.8, 1.7, 2.2, 7.6 ตามลำดับ นอกจากนี้ที่การจัดการน้ำต่างกันในช่วงเวลาเก็บข้อมูลเดียวกัน พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งสองฤดูมีค่าที่ 0.01- 10.3 โดยที่ช่วงเริ่มหว่านจนกระทั่งก่อนการแตกกอสูงสุดจะมีค่าเบี่ยงเบนน้อย ค่าเบี่ยงเบนรวมของทุกข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาทั้งสองฤดูมีค่าที่ 6.9 และ 5.8 ขณะที่ค่าเบี่ยงเบนที่คิดจากการแพร่กระจายของมีเทนตลอดฤดูมีค่า 12.6 และ 12.7 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เปรียบเทียบทั้ง 2 ฤดู พบว่าปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนรายละเอียดในการเปรียบเทียบการเกิดมีเทนในแต่ละเงื่อนไขการจัดการน้ำในฤดูที่ 1 และ 2 ได้แสดงในภาพที่ 22 และ 23 มีดังนี้



ภาพที่ 20 ปริมาณมีเทนในนาข้าวที่ระยะเวลาต่างๆ ในแต่ละการจัดการน้ำฤดูที่ 1

ตารางที่ 13 รายละเอียดข้อมูลการแพร่กระจายของมีเทนเฉลี่ยในนาข้าวฤดูที่ 1

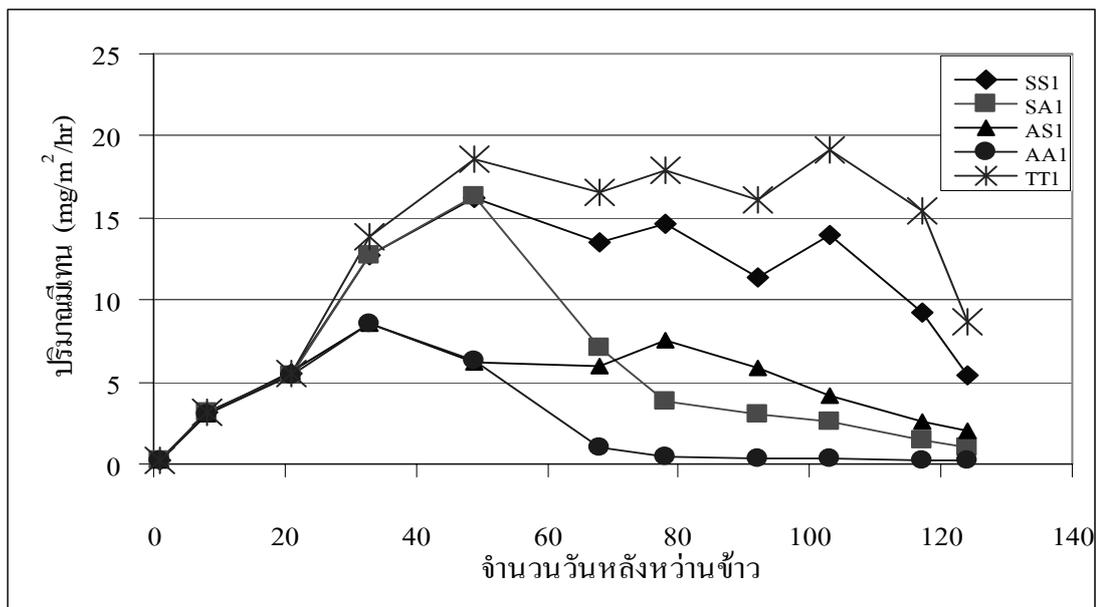
ช่วงการปลูกข้าว ฤดูที่ 1	วัน-เดือน	จำนวนวันหลังหว่าน (วัน)	เงื่อนไขการจัดการน้ำ				
			SS	SA	AS	AA	TT
หว่านข้าว	9-มี.ค.	1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20
ออกใบ	16-มี.ค.	8	3.11	3.10	3.09	3.07	3.10
เริ่มแตกกอ	29-มี.ค.	21	5.48	5.46	5.61	5.43	5.50
แตกกอ	10-เม.ย.	33	12.75	12.67	8.58	8.61	15.90
สร้างรวง	26-เม.ย.	49	16.23	16.37	6.21	6.27	19.53
ตั้งท้อง	17-พ.ค.	70	13.46	7.11	6.02	0.26	21.57
ตั้งท้อง	25-พ.ค.	78	14.59	3.78	7.53	0.31	22.68
นํานม	8-มิ.ย.	92	11.43	3.05	5.84	0.25	23.43
นํานม	19-มิ.ย.	103	13.92	2.64	4.12	0.23	25.11
สุกแก่	25-มิ.ย.	117	9.27	1.47	2.55	0.19	18.39
เก็บเกี่ยว	10-ก.ค.	124	5.42	0.96	1.98	0.11	8.64
ปริมาณรวมทั้งฤดูการ (g/m ² /crop)			31.98	19.09	15.79	8.68	39.99



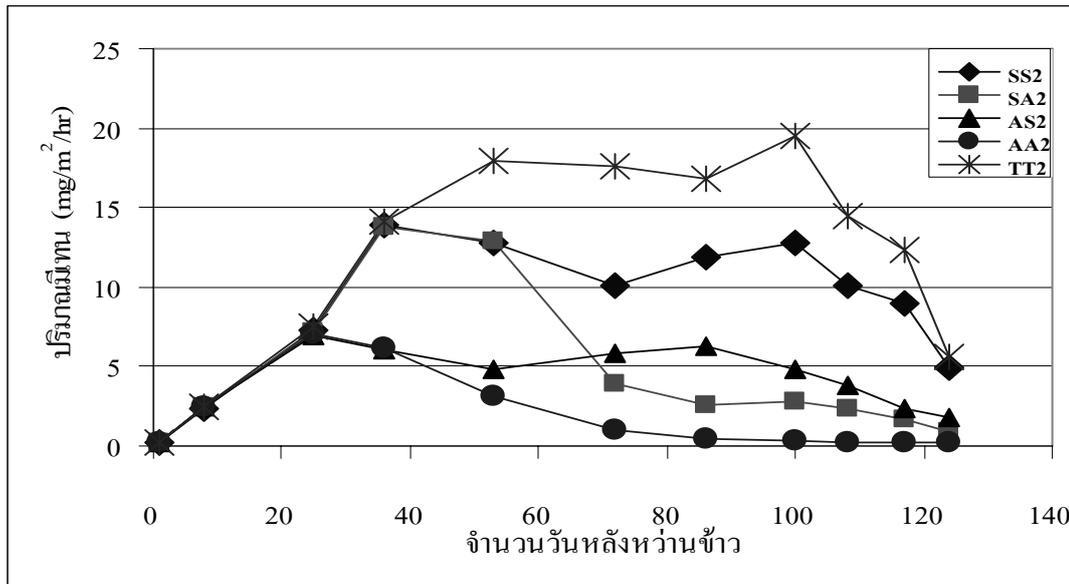
ภาพที่ 21 ปริมาณมีเทนในน้ำข้าวที่ระยะเวลาต่างๆ ในแต่ละการจัดการน้ำฤดูที่2

ตารางที่ 14 รายละเอียดข้อมูลการแพร่กระจายของมีเทนเฉลี่ยในนาข้าวฤดูที่ 2

ช่วงการปลูกข้าว วัน-เดือน	จำนวนวันหลังหว่าน	เงื่อนไขการจัดการน้ำ					
		SS	SA	AS	AA	TT	
ฤดูที่ 2	(วัน)						
หว่านข้าว	22-ส.ค.	1.00	0.23	0.25	0.23	0.24	0.25
ออกใบ	29-ส.ค.	8.00	2.41	2.47	2.46	2.49	2.47
เริ่มแตกกอ	15-ก.ย.	25.00	7.26	7.18	5.86	5.89	7.54
แตกกอ	26-ก.ย.	36.00	11.92	11.84	4.97	5.02	15.23
ออกรวง	13-ต.ค.	53.00	9.76	8.81	3.16	2.98	17.05
ตั้งท้อง	1-พ.ย.	72.00	8.08	2.93	2.96	0.23	17.54
ตั้งท้อง	15-พ.ย.	86.00	8.87	2.05	5.12	0.27	18.83
นํานม	29-พ.ย.	100.00	11.73	2.11	3.83	0.31	20.48
นํานม	8-ธ.ค.	108.00	8.11	1.85	3.06	0.21	22.47
สุกแก่	17-ธ.ค.	117	4.97	1.21	2.05	0.13	12.32
เก็บเกี่ยว	23-ธ.ค.	124.00	3.89	0.76	1.08	0.01	5.63
ปริมาณรวมทั้งฤดูการ (g/m ² /crop)			28.88	17.39	14.32	7.24	39.35



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายในนาข้าวที่ระยะเวลาต่างๆ ฤดูที่ 1



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายในนาข้าวที่ระยะเวลาต่างๆ ฤดูที่ 2

ก. เปรียบเทียบปริมาณมีเทนในช่วง I₂ และ I₃ ที่ฤดูเดียวกัน

การเปรียบเทียบปริมาณมีเทนที่ฤดูเดียวกันเฉพาะช่วง I₂ และ I₃ พบว่าการมีน้ำท่วมขังน้อยกว่าจะมีค่า flux ของมีเทนในนาข้าวน้อยกว่าโดยการให้น้ำแบบ AA หรือเงื่อนไขการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งในทุกช่วงให้ค่ามีเทนน้อยที่สุด ต่อมาเป็นเงื่อนไข AS ซึ่งให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งต่อด้วยแบบน้ำตื้นให้ค่าใกล้เคียงกับเงื่อนไขแบบ SA ซึ่งให้น้ำแบบน้ำตื้นต่อด้วยแบบเปียกสลับแห้งสำหรับเงื่อนไขแบบ SS ซึ่งให้น้ำแบบน้ำตื้นในทุกช่วงให้ค่ามีเทนมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเงื่อนไข TT หรือการปลูกข้าวแบบดั้งเดิมในแปลงนาเกษตรกรซึ่งให้น้ำมากที่สุดพบว่าให้ค่ามีเทนมากที่สุด

ข. เปรียบเทียบปริมาณมีเทนในเงื่อนไขที่ 2 และ 3

สำหรับเงื่อนไขที่ 2 และ 3 คือ SA และ AS ซึ่งมีการจัดการน้ำแบบน้ำตื้น (S) และเปียกสลับแห้ง (A) เหมือนกันแต่สลับช่วงการเจริญเติบโตของพืช จากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไข SA เมื่อมีการให้น้ำมากกว่าคือให้แบบน้ำตื้นในช่วง I₂ และมีปัจจัยของปุ๋ยที่ใส่ในนาข้าวเป็นปัจจัยเสริมร่วมด้วยทำให้ปริมาณมีเทนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน หลังจากนั้นเมื่อให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งซึ่งมีความลึกน้ำน้อยกว่าและมีช่วงที่นาข้าวมีสภาพที่ดินแห้งทำให้มีออกซิเจนในดิน ซึ่งเป็นการตัดวงจรแอนแอโรบิกเป็นช่วงๆ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกมีเทนโนเจนซึ่งไม่ใช้ออกซิเจน

ในการสร้างก๊าซมีเทนทำให้ปริมาณมีเทนค่อยๆลดลงทั้งๆที่มีการใส่ปุ๋ยในนาข้าว ต่อมาเมื่อมีเทนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะน้ำม หลังจากนั้นจึงลดลงจนถึงระยะสุกแก่ ส่วนเงื่อนไข AS ที่ในระยะแรกคือ I_2 มีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งซึ่งมีปริมาณน้ำน้อยกว่าและเมื่อมีการใส่ปุ๋ยลงไปนาข้าวไม่ทำให้เกิดผลกระทบมากนัก ให้ค่ามีเทนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและค่อยๆลดลงเริ่มมีการยับยั้งวงจรแอนแอโรบิกตั้งแต่ช่วงแรก ดังนั้นในระยะต่อมาเมื่อให้น้ำแบบน้ำตื้นคือเพิ่มระดับน้ำมากขึ้นมีการใส่ปุ๋ย ค่ามีเทนค่อยๆเพิ่มขึ้นในระยะตั้งท้องหลังจากนั้นระยะการเจริญของพืชไม่ค่อยมีผลนัก ทำให้ปริมาณมีเทนค่อยๆลดลงจนถึงสุกแก่

ค. เปรียบเทียบปริมาณมีเทนในเงื่อนไขที่ 1 และ 4

เมื่อพิจารณาเงื่อนไข 1 และ 4 คือ SS และ AA ซึ่งมีการจัดการน้ำคล้ายกันคือมีรูปแบบการจัดการน้ำแบบน้ำตื้นทั้งสองช่วงและการจัดการแบบเปียกสลับแห้งทั้งสองช่วงในช่วง I_2 และ I_3 เหมือนกัน แต่ทั้งนี้เพราะแบบ AA จะมีการให้น้ำปริมาณน้อยกว่าและมีสภาพของดินแห้งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้มีการยับยั้งวงจรแอนแอโรบิกตลอดทั้งสองช่วง ดังนั้นทำให้เกิดมีเทนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการใส่ปุ๋ย หลังจากนั้นค่อยๆลดลงอย่างเห็นได้ชัดจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ สภาพจึงใกล้เคียงกับนาไร่ ในขณะที่แบบ SS มีการให้น้ำแบบน้ำตื้นซึ่งมีปริมาณน้ำมากกว่าตลอดเวลาและในดินขาดออกซิเจน ทำให้ในช่วงระยะแตกกอที่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณมีเทนมากที่สุดทั้งนี้ น่าจะเกิดจากก่อนหน้านั้นมีการระบายน้ำออกจากนาข้าวทำให้ดินแห้งเมื่อมีการให้น้ำในครั้งแรกและมีปริมาณน้ำสูง ทำให้อัตราการรั่วซึมของน้ำลงในดินสูงดังนั้นการนำสารละลายต่างๆ จากปุ๋ยข่มสูงตามไปด้วย ทำให้ปฏิกิริยาต่างๆ ในดินเพิ่มขึ้นจึงส่งผลต่อการผลิตมีเทนในเวลาเดียวกัน ในช่วงเวลาต่อมาค่ามีเทนค่อยๆลดลงจนถึงเริ่มสร้างรวงทั้งนี้เพราะปริมาณปุ๋ยถูกใช้ไปในกระบวนการต่างๆ ทำให้เหลือปุ๋ยในนาอย่างลงประกอบกับดินอยู่ในภาวะอิ่มตัวทำให้อัตราการรั่วซึมก็ลดลงกว่าช่วงแรกเช่นกัน หลังจากนั้นมีการใส่ปุ๋ยลงไปอีกครั้งทำให้มีเทนเพิ่มขึ้นในระยะตั้งท้องและต่อมาลดลงในระยะดอกบานรวมทั้งค่ามีเทนเพิ่มขึ้นอีกครั้งในระยะน้ำมซึ่งน่าจะเกิดจากช่องว่างในลำต้นข้าวมากขึ้นหรืออาจจะมีการใช้สารละลายน้อยลง และลดลงอีกครั้งจนถึงระยะสุกแก่ทั้งนี้เพราะช่วงนี้เป็นช่วงที่ข้าวมีการเจริญเติบโตน้อยมากมีการใช้น้ำน้อย

ง. เปรียบเทียบปริมาณมีเทนในเงื่อนไขที่ 1 และ 2 กับเงื่อนไข 3 และ 4

พิจารณาสำหรับเงื่อนไขที่ 1 และ 2 (SS และ SA) เปรียบเทียบกับเงื่อนไข 3 และ 4 (AS และ AA) ซึ่งในช่วงแรกคือช่วง I_2 มีการจัดการน้ำเหมือนกัน ทำให้ค่ามีเทนจากเงื่อนไข SS และ SA ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้มีค่าใกล้เคียงกัน ขณะเดียวกันมีเทนที่เกิดขึ้นจากการจัดการน้ำแบบ AS และ AA ก็มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามเพราะการให้น้ำที่มีปริมาณมากกว่าทำให้มีค่ามีเทนจากเงื่อนไขแบบ SS และ SA มีค่ามากกว่าเงื่อนไขการจัดการน้ำแบบ AS และ AA ต่อมาในช่วง I_3 เงื่อนไข SA และ AA มีปริมาณน้ำน้อยกว่าและมีสภาวะดินแห้งมาเกี่ยวข้องด้วยทำให้ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการจัดการน้ำแบบ SS และ AS ตามลำดับ

จ. เปรียบเทียบปริมาณมีเทนในเงื่อนไขที่ 1 และ 5

จากการจัดการน้ำเงื่อนไขที่ 1 และ 5 หรือแบบ SS และ TT ซึ่งมีลักษณะคล้ายกัน คือมีน้ำท่วมขังในทั้งสองช่วงเวลา มีการสะสมสถานะแอนเอโรบิคอย่างต่อเนื่อง โดยที่เงื่อนไข TT มีน้ำท่วมขังมากกว่า แนวโน้มการเกิดมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตต่างๆคล้ายกันแต่เงื่อนไข TT มีค่ามีเทนมากกว่าทั้งนี้เพราะมีอัตราการรั่วซึมน้ำสู่ดินและมีภาวะแอนเอโรบิคมากกว่าก่อให้เกิดปฏิกิริยาในดินมากกว่าแบบ SS รวมทั้งให้ค่ามีเทนมากกว่าเงื่อนไขอื่นๆที่ทดลองเช่นกัน

ฉ. เปรียบเทียบปริมาณมีเทนในเงื่อนไขที่ 1, 2, 3, 4 และเงื่อนไขที่ 5

สำหรับฤดูที่ 1 มีค่าการแพร่กระจายของมีเทนในนาข้าวตามเงื่อนไขการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS, AA และ TT เฉลี่ย 31.9, 19.1, 15.8, 8.7 และ 39.9 $\text{g m}^{-2} \text{crop}^{-1}$ ตามลำดับ โดยปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจากการจัดการน้ำแบบ AA < AS < SA < SS < TT รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนาแบบดั้งเดิมของเกษตรกร (TT) พบว่าสามารถลดปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายจากนาข้าวที่มีการจัดการน้ำแบบประหยัดทั้ง 4 แบบคือ SS, SA, AS, AA ได้ประมาณ 20.2, 52.2, 60.5 และ 78.2 % ตามลำดับ

ส่วนฤดูที่ 2 ให้ค่าปริมาณการแพร่กระจายของมีเทนในนาข้าวตามเงื่อนไขการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS, AA และ TT เฉลี่ย 28.9, 17.4, 14.3, 7.2 และ 39.3 $\text{g m}^{-2} \text{crop}^{-1}$ ตามลำดับ โดยปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกับในฤดูที่ 1 คือให้ค่าปริมาณมีเทนจาก

การจัดการน้ำแบบ AA < AS < SA < SS < TT รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนาแบบดั้งเดิมของเกษตรกร (TT) พบว่าสามารถลดปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายจากนาข้าวที่มีการจัดการน้ำ แบบ SS, SA, AS, AA ได้ประมาณ 26.6, 55.8, 63.6 และ 81.6 % ตามลำดับ

ข. เปรียบเทียบปริมาณมีเทนในฤดูที่ 1 และ 2

จากการทดลองพบว่าในการทำนาข้าวฤดูที่ 2 มีแนวโน้มการแพร่กระจายของมีเทนในช่วงเวลาการจัดการน้ำต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงคล้ายกับฤดูที่ 1 แต่ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นน้อยกว่าฤดูที่ 1 เล็กน้อย ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากอุณหภูมิของอากาศในช่วงที่ทดลองฤดูที่ 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าฤดูแรกรวมทั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละวันก็แตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงส่งผลให้อุณหภูมิในดินฤดูที่ 2 มีค่าต่ำลง ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนหรือใช้มีเทนรวมทั้งมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในดินเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ อาจมาจากสาเหตุที่การจัดการน้ำ ในนาข้าวฤดูที่ 1 มีการตัดวงจรแอนแอโรบิกในบางช่วงเวลาจึงส่งผลให้มีการลดจำนวนของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนในพื้นที่นาข้าวในฤดูที่ 2 ให้น้อยลง การสร้างมีเทนจึงลดลงเช่นกัน

ดังนั้นผลโดยทั่วไปสรุปว่าเมื่อมีน้ำท่วมขังในปริมาณมากกว่าและชั่งเวลานานกว่า รวมทั้งมีการใส่ปุ๋ยลงไปในนาข้าวจะทำให้มีผลต่อการแพร่กระจายของมีเทนมากกว่า

2.3 แบบจำลองDNDC

ก. การนำเข้าข้อมูลแบบจำลอง DNDC

แบบจำลอง DNDC สามารถทำนายค่าชีวเคมีของ C และ N ในดินได้ทั้งในระดับ site และ region ซึ่งอาจจะใช้ข้อมูลปีเดียวหรือเป็นร้อยปีก็ได้ เมื่อเริ่มโปรแกรมจะแสดงหน้าจอหลักแสดงในภาพผนวกที่ 9 เพื่อให้เลือกทำนายค่าต่างๆ จากแบบจำลองใน mode ต่างๆ เลือกการทำนาย mode site ซึ่งจะมีรายละเอียดหลักให้ใส่ 3 เมนูหลักได้แก่ดังนี้

1) เมนูข้อมูลเกี่ยวกับภูมิอากาศ

เมนูข้อมูลภูมิอากาศแสดงดังภาพผนวกที่ 10 จะมีการใส่ site name, latitude, simulate years, climate file's format นอกจากนี้ยังมีค่า N concentration in rainfall, atmospheric background NH₃ concentration และ atmospheric background CO₂ concentration ซึ่งแบบจำลองได้ใส่ค่า default ไว้ให้ สำหรับ file climate จะต้องมีกรเตรียมข้อมูลอากาศไว้ก่อนแยกเป็นแต่ละปี ตามทางเลือกที่มี 3 แบบ ค่าต่างๆ ที่นำเข้าไปในฤดูที่ 1 และ 2 มีดังนี้คือ

สำหรับฤดูที่ 1 การนำเข้าข้อมูลจากการทดลองมีค่าต่างๆ คือความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำฝน (N concentration in rainfall) มีค่า 2.16 mg N l⁻¹ ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในบรรยากาศ (Atmospheric background NH₃ concentration) มีค่า 0.1 µgN m⁻³ ส่วนค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (Atmospheric background CO₂ concentration) มีค่า 375 ppm และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 2.5 ppm yr⁻¹ สำหรับข้อมูลภูมิอากาศเลือกจัดการข้อมูลในแบบที่ 2 คือมีค่าลำดับที่ของวัน julian day ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวันรวมทั้งค่าปริมาณฝนในแต่ละวัน ซึ่งข้อมูลได้จากตารางผนวกที่ 1

ส่วนฤดูที่ 2 จากการทดลองข้อมูลที่น่าเข้ามีค่าต่างๆ ดังนี้คือความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำฝน (N concentration in rainfall) มีค่า 0.83 mg N l⁻¹ ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในบรรยากาศ (Atmospheric background NH₃ concentration) มีค่า 0.09 mg N l⁻¹ ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (Atmospheric background CO₂ concentration) มีค่า 376 ppm และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 2.5 ppm yr⁻¹ สำหรับข้อมูลภูมิอากาศเลือกเติมข้อมูลในแบบที่ 2 คือมีค่าลำดับที่ของวัน julian day ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวันรวมทั้งค่าปริมาณฝนในแต่ละวัน ซึ่งข้อมูลได้จากตารางผนวกที่ 1 เช่นเดียวกับในฤดูที่ 1

2) เมนูข้อมูลดิน

เมนูข้อมูลดินแสดงดังภาพผนวกที่ 11 ประกอบด้วย Land-use, Soil Texture and Clay fraction, Clay content, Soil density, Soil pH, Wilting Point, Field Capacity, Soil Bypass Flow, Initial soil Organic C content at surface, Soil organic C partitioning, Initial NO₃⁻ at surface soil, Initial NH₄⁺ at surface soil, Initial soil moisture, Initial soil temperature, Microbial activity

index, Depth of water –retention layer และ slope ซึ่งในแบบจำลองจะมีค่า default ไว้ให้ทุกค่า แต่จากการทดลองได้นำเข้าข้อมูลในฤดูที่ 1 และ 2 ดังนี้คือ

ในฤดูที่ 1 จากการทดลองข้อมูลที่นำเข้ามีค่าต่างๆ ดังนี้คือ soil texture เป็น silt loam และมีค่า clay fraction เท่ากับ 0.27 สำหรับค่า wilting point, field capacity และ bulk density มีค่า 0.3, 0.14 และ 1.34 ตามลำดับ ค่า initial soil organic C content (SOC) at surface มีค่า 0.052 kgC / kg soil, depth of water–retention layer มีค่า 1.20 เมตร, depth of top soil with uniform content มีค่า 0.13 เมตร, SOC decrease rate below top soil เท่ากับ 1.2 และ initial NO_3^- concentration at surface soil เท่ากับ 0.1 mgN /kg soil, Initial NH_4^+ concentration at surface soil เท่ากับ 15.71 mgN / kg soil, Microbial activity index เท่ากับ 0.9 และไม่มี slope ในนาข้าว

ส่วนฤดูที่ 2 จากการทดลองข้อมูลที่นำเข้ามีค่าต่างๆ ดังนี้คือ soil texture เป็น silt loam และมีค่า clay fraction เท่ากับ 0.27 สำหรับค่า wilting point, field capacity และ bulk density มีค่า 0.14, 0.3 และ 1.30 ตามลำดับ ค่า initial soil organic C content (SOC) at surface มีค่า 0.054 kgC / kg soil, depth of water–retention layer มีค่า 1.20 เมตร, depth of top soil with uniform content 0.13 เมตร, SOC decrease rate below top soil มีค่า 1.2 และ Initial NO_3^- concentration at surface soil เท่ากับ 7.85 mgN /kg soil, Initial NH_4^+ concentration at surface soil เท่ากับ 15.71 mgN /kg soil, Microbial activity index เท่ากับ 0.9 และพิจารณาว่าไม่มี slope ในนาข้าว

3) เมนูข้อมูลการจัดการพื้นที่

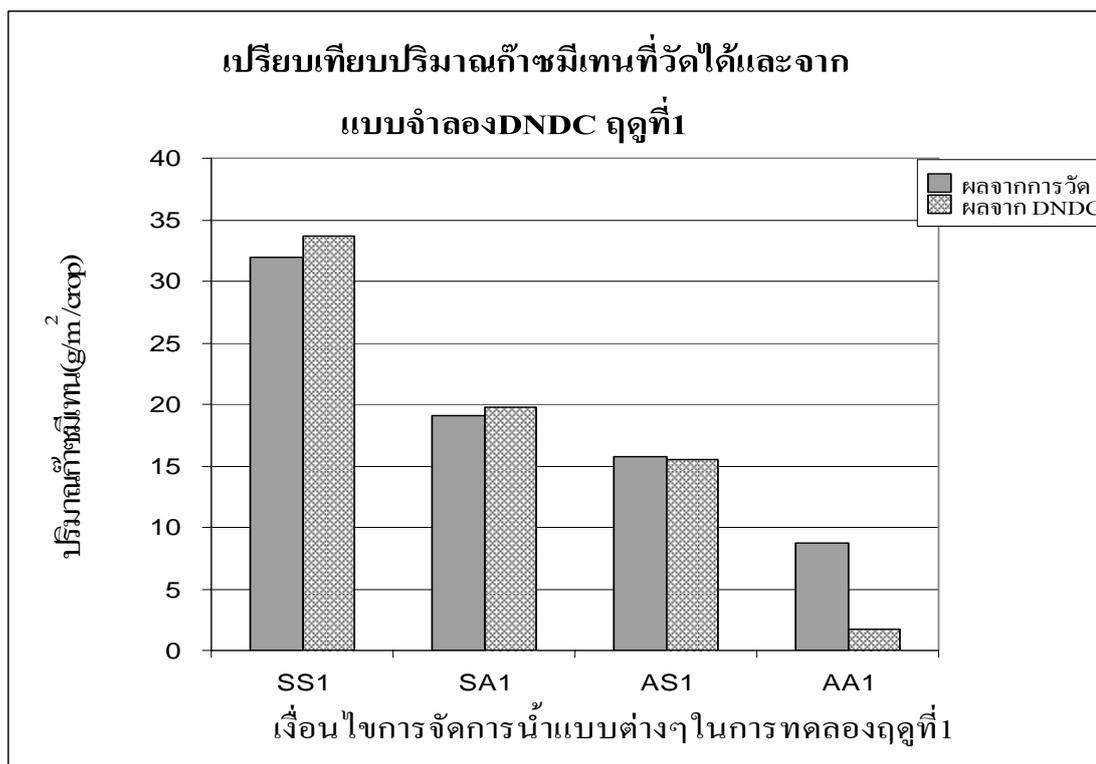
เมนูข้อมูลการจัดการพื้นที่แสดงดังภาพผนวกที่ 12-17 จะมีการใส่ค่า total year, number of cropping systems applied during the entire simulated year, cropping No., duration, years of a cycle และ year in a cycle ซึ่งจะต้องมีการใส่ข้อมูลการจัดการพื้นที่ในแต่ละปีในแต่ละ cycle ของแต่ละการหมุนเวียนการปลูกพืช โดยการเลือก input management ซึ่งแบ่งเป็น 8 เมนูย่อย ได้แก่ ชนิดของพืชและการหมุนเวียน การไถพรวน การใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยธรรมชาติ การให้น้ำ การท่วมน้ำ วัชพืช และ grazing ซึ่งข้อมูลการจัดการต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นการใส่วันที่ของการจัดการต่างๆ และ ปริมาณที่ใส่เข้าไปในนาข้าว ทั้งนี้ข้อมูลต่างๆ ได้กล่าวไว้แล้วในเนื้อหาของวิธีการทดลองข้างต้น ซึ่งในภาพผนวกได้ยกตัวอย่างมาจากการจัดการน้ำแบบ SS ฤดูที่ 1

ข. ผลลัพธ์ปริมาณมีเทนจากแบบจำลอง DNDC

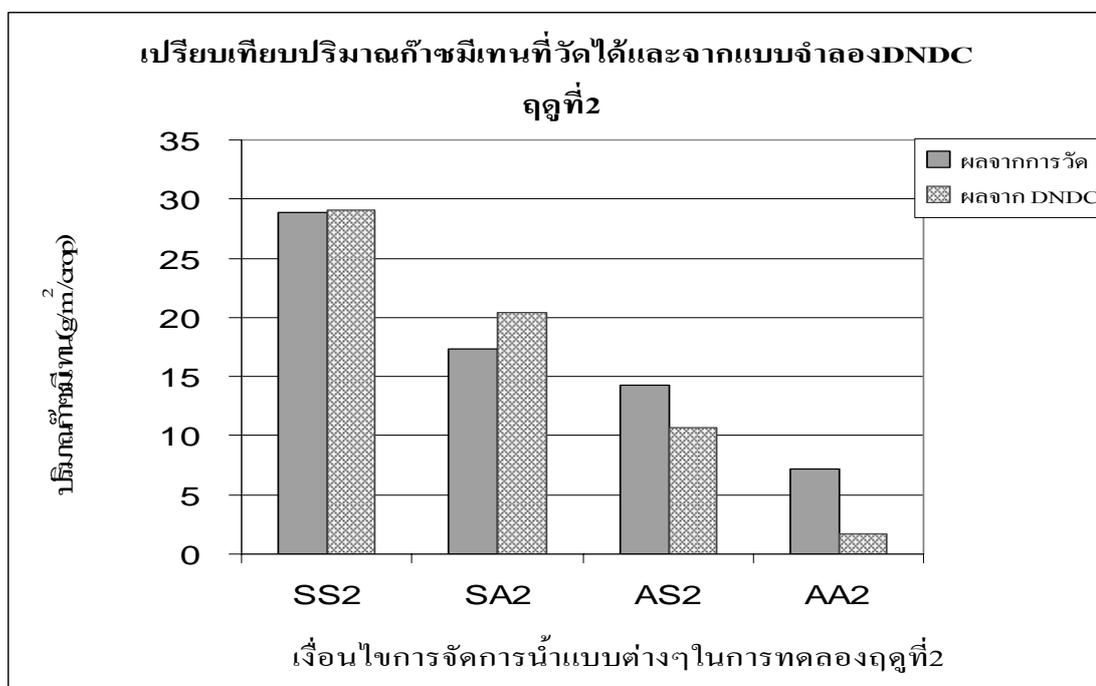
สำหรับผลของการแพร่กระจายของมีเทนซึ่งคำนวณจากแบบจำลอง DNDC พบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS, AA ในฤดูที่ 1 มีค่า 33.73, 19.73, 15.47 และ 1.73 $\text{g m}^{-2} \text{crop}^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนในฤดูที่ 2 มีค่าการแพร่กระจาย 29.06, 20.40, 9.73 และ 1.73 $\text{g m}^{-2} \text{crop}^{-1}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ในแต่ละช่วงเวลาของการปลูกข้าวในฤดูที่ 1 และ 2 พบว่าที่เวลาต่างๆ ในแต่ละการจัดการน้ำ มีแนวโน้มการแพร่กระจายของมีเทนใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บจริงในสนามแสดงดังภาพผนวกที่ 1 และ 2

2.4 เปรียบเทียบผลการแพร่กระจายมีเทนจากการวัดและจากแบบจำลอง DNDC

จากการเปรียบเทียบปริมาณมีเทนทั้งสองฤดูที่ได้จากข้อมูลที่วัดในสนามและจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง DNDC ดังแสดงในภาพที่ 24 และ 25 พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือให้ค่าปริมาณมีเทนที่เกิดจากเงื่อนไข AA น้อยกว่า SA, AS และ SS ตามลำดับ แต่ตัวเลขสรุปรวมของปริมาณก๊าซทั้งฤดูมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองจริงมีการสูมเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมอโดยที่ไม่ได้เก็บแบบต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นข้อมูลในช่วงที่มีเทนขึ้นสูงสุดหรือต่ำสุดจะหายไปและค่าเฉลี่ยมีเทนได้จากตัวแทนการเกิดก๊าซเป็นรายชั่วโมงในบางวันของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตเท่านั้นที่นำไปคำนวณหาค่ามีเทนตลอดฤดูเพาะปลูก รวมทั้งในกรณี AA หรือการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งทั้งสองช่วงของทั้งสองฤดูให้ค่าที่แตกต่างกันระหว่างข้อมูลที่วัดและจากแบบจำลองทั้งนี้ น่าจะเกิดจากการควบคุมน้ำให้แห้งได้ไม่ดีนักเพราะมีฝนตกลงมา นอกจากนี้การวิเคราะห์แบบจำลอง DNDC ยังให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับการทดลองที่แสดงว่าผลการเจริญเติบโตของข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบปริมาณมีเทนจากการวัดในนาข้าวและจากแบบจำลอง DNDC ฤดูที่1



ภาพที่ 25 เปรียบเทียบปริมาณมีเทนจากการวัดในนาข้าวและจากแบบจำลอง DNDC ฤดูที่2

2.5 วิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity) การแพร่กระจายมีเทนจากแบบจำลอง DNDC

เนื่องจากการทดลองหาปริมาณมีเทนในนาข้าวได้ทดลองในดินเพียงชนิดเดียวซึ่งเป็นการทดลองเบื้องต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการแพร่กระจายของมีเทนจึงใช้แบบจำลอง DNDC ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งมีผลดังนี้

ก. การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดิน

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินในทั้งสองฤดูมีผลต่อการแพร่กระจายของมีเทน ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3 และ 4 โดยการจัดการน้ำแบบ SS ที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลาเมื่อดินมีค่า pH เพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงของมีเทนค่อยๆ สูงขึ้นจนกระทั่ง pH มากกว่า 8.0 การแพร่กระจายของมีเทนมีแนวโน้มลดลง รวมทั้งในกรณีที่ดินเป็นกรดมากค่ามีเทนก็จะน้อยลงเช่นเดียวกัน การแพร่กระจายของมีเทนจะมีมากในช่วง pH 7.0-8.5 จากการวิเคราะห์ค่า pH ดินที่เพิ่มขึ้น 0.5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงมีเทนเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 22-68 และ 27-66 kg C ha⁻¹ crop⁻¹ สำหรับฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดอยู่ในช่วง pH 6-7 สำหรับการจัดการน้ำแบบ SA และ AS มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของมีเทนใกล้เคียงกับการจัดการแบบ SS แต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างต่ำกว่าโดยแบบ SA เมื่อค่า pH ดินเพิ่มขึ้น 0.5 พบว่ามี การเปลี่ยนแปลงมีเทนเพิ่มขึ้น 9-52 และ 5-60 kg C ha⁻¹ crop⁻¹ ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนค่าการจัดการแบบ AS มีค่า 3-33 และ 4-20 kg C ha⁻¹ crop⁻¹ ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการจัดการน้ำแบบ AA ไม่มีผลมากนักทั้งนี้พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยการเพิ่มค่า pH ดิน 0.5 มีการเปลี่ยนแปลงการแพร่กระจายของมีเทน 3-5 และ 5-8 kg C ha⁻¹ crop⁻¹ ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับเท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่าที่การให้น้ำน้อยๆ และดินมีสภาวะเอโรบิก ค่า pH ดินส่งผลต่อมีเทนน้อยมาก

ข. การเปลี่ยนแปลงชนิดของดิน

การเปลี่ยนแปลงชนิดของดินต่อการแพร่กระจายของมีเทนพบว่ามีผลเช่นกัน แสดงในภาพผนวกที่ 5 และ 6 ทั้งนี้จากการพิจารณาดิน 9 ชนิดได้แก่ silt loam, loam, sandy clay loam, silty clay loam, clay loam, sandy clay, silty clay และ organic soil ผลปรากฏว่าในการจัดการน้ำแบบเดียวกันในดินต่างชนิดกันให้ค่าการแพร่กระจายของมีเทนต่างกัน และในดินชนิดเดียวกันการจัดการน้ำต่างกันให้ค่ามีเทนต่างกันมาก ทั้งนี้ถ้าเรียงลำดับการแพร่กระจายมีเทนจากดิน

9 ชนิดจากมากมาน้อยและแบ่งกลุ่มการแพร่กระจายเป็น 3 กลุ่ม พบว่ากลุ่มที่ให้มิเทนมากที่สุด ในทั้งสองฤดูและทุกการจัดการน้ำคือ organic soil, clay loam, sandy clay กลุ่มที่ให้มิเทนปานกลาง ได้แก่ silt loam, silty clay, silty clay loam และกลุ่มที่ให้มิเทนน้อยที่สุด ได้แก่ clay, loam, sandy clay loam โดย organic soil มีแนวโน้มให้ค่ามิเทนมากที่สุดและ sandy clay loam ให้มิเทนน้อยที่สุดในกรณีต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขการวิเคราะห์ โดยค่าสูงสุดและต่ำสุดในชนิดดินต่างๆ ในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA มีค่า 625-150, 448-91, 191-65, 38-6 และ 424-133, 387-93, 114-45, 58-6 ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

สำหรับในแต่ละการให้น้ำคือ SS, SA, AS และ AA พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงชนิดดินมีค่า 144.3, 120.9, 40.8, 12.4 และ 104.2, 105.1, 22.8, 19.6 ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าปัจจัยจากชนิดดินมีผลมากต่อการจัดการน้ำแบบคืนที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา ขณะที่การให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งค่ามิเทนที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกันมากนักแสดงว่าปัจจัยจากชนิดดินก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำหรับการจัดการน้ำแบบนี้้น้อยมาก

อย่างไรก็ตามในดินแต่ละชนิดพบว่าเมื่อมีการจัดการน้ำต่างกัน 4 เงื่อนไขในฤดูที่ 1 ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของมิเทน 61-265 และ 55-192 ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดย sandy clay loam และ organic soil ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับในทั้งสองฤดู ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมมีค่า 167 และ 136 สำหรับฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ค. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสัดส่วนของคาร์บอนในดิน

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสัดส่วนของคาร์บอนในดินที่ทำการทดลอง ผลแสดงดังภาพผนวกที่ 7 และ 8 โดยพบว่าเมื่อสัดส่วนคาร์บอนในดินมีปริมาณน้อยค่าการแพร่กระจายของมิเทนจะมีน้อย สำหรับการจัดการน้ำแบบ SS, SA และ AS ในทั้งสองฤดูให้ค่ามิเทนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัดส่วนคาร์บอนมีค่า 0.001-0.03 ต่อมาจะมีค่าลดลงน้อยมากจนกระทั่งค่าสัดส่วนมีค่า 0.1 ส่วนการจัดการน้ำแบบ AA ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของมิเทนน้อยมาก ดังนั้นปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนคาร์บอนในดินจะมีผลต่อการแพร่กระจายมิเทนนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการจัดการน้ำด้วย ทั้งนี้สำหรับในแต่ละการให้น้ำคือ SS, SA, AS และ AA พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของคาร์บอนในดินมีค่า 62.9, 45.3, 18.6, 2.1 และ 49.8, 39, 12.2, 2.2 ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ รวมทั้งเมื่อให้สัดส่วนคาร์บอนมีค่าเท่ากันแต่มีการจัดการน้ำต่างกันพบว่าให้ค่า

เบี่ยงเบนมาตรฐานของการเกิดมีเทนมีค่า 35-99 และ 31- 88 ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยที่ สัดส่วนคาร์บอนมีค่า 0-0.03 ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าในช่วงสัดส่วน 0.03-0.1 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมของทั้งสองฤดูมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักคือมีค่า 81 และ 72 ตามลำดับ

ง. การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์อื่นๆ

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์อื่นๆ เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลง การแพร่กระจายของมีเทนพบว่า สำหรับดินที่ใช้ในการทดลองและมีการใส่ปุ๋ยยูเรีย เมื่อเปลี่ยนแปลง ชนิดปุ๋ยเป็น NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ปรากฏว่าค่ามีเทนในการจัดการน้ำแบบ SA, AS และ AA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งสองฤดู ส่วนการจัดการน้ำแบบ SS มีการเปลี่ยนแปลงของมีเทน ไม่มากนัก โดยแนวโน้มของมีเทนลดลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ และ NH_4NO_3 ตามลำดับ รวมทั้ง การใส่ปุ๋ยใดๆ เมื่อมีการจัดการน้ำที่ต่างกัน 4 เงื่อนไข ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของมีเทน 97-99 และ 88-89 ในฤดูที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

นอกจากนี้การวิเคราะห์สัดส่วนการทิ้งใบและลำต้นลงในนาข้าวจากการเพาะปลูก ก่อนหน้าพบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมีเทนน้อยมาก

3. คุณภาพน้ำ

ผลของคุณภาพน้ำในส่วนของความเข้มข้นไนเตรท, แอมโมเนียม, ฟอสเฟต, BOD, pH, อุณหภูมิ และค่า EC ที่วัดในคลองส่งน้ำ นาข้าว คลองระบายน้ำและคูระบายที่ขุดขึ้นติดกับพื้นที่ ทดลองเพื่อดูการรั่วซึมของสารละลายจากนาข้าวทดลองที่มีการจัดการน้ำต่างกัน โดยคลองระบาย น้ำคือคลองระบายน้ำชลประทานที่รับน้ำจากพื้นที่นาข้าวต่างๆในลุ่มน้ำแม่กลอง และคูระบายน้ำ หมายถึงคูระบายน้ำที่ขุดขึ้นติดกับพื้นที่ทดลองเพื่อรับน้ำจากแปลงนาทดลองโดยตรงซึ่งจะมี ขนาดเล็กกว่าคลองระบายน้ำ สำหรับการรั่วซึมของไนเตรทและแอมโมเนียมจากนาข้าวได้จากการ ทำแบบจำลองสมดุล ไนโตรเจน ส่วนการเปรียบเทียบอื่นๆ วิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลทั่วไป ทั้งนี้จากการวัดคุณภาพน้ำฝนในสองฤดูพบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนียม 0.85 และ 0.89 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของไนเตรทมีค่า 1.31 และ 1.26 มิลลิกรัมต่อ ลิตรตามลำดับ สำหรับผลคุณภาพน้ำในส่วนต่างๆมีดังนี้คือ

3.1 ผลจากแบบจำลองสมมูลไนโตรเจนในนาข้าว

การใช้ปุ๋ยในนาข้าวซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำใกล้เคียงทั้งนี้เกิดจากการไหลของน้ำเลยเขตรากพืชและการระบายน้ำออกจากรากข้าวทำให้มีสารละลายจากปุ๋ยถูกนำออกไปด้วย อนึ่งการทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบสมมูลไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยในนาข้าวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนจะช่วยให้เห็นภาพรวมของการเดินทางของสารละลายของปุ๋ยไปกับน้ำ ดังนั้นจึงได้ทำแบบจำลองง่ายๆ เพื่อศึกษาสมมูลไนโตรเจนในนาข้าวโดยประยุกต์จากการนำเสนอแบบจำลองของ Yoshinaka *et al.* (2004) และ Chowdary *et al.* (2004) ซึ่งพิจารณา ผลของแอมโมเนียมและไนเตรทเป็นตัวสำคัญ อย่างไรก็ตามเนื่องจากในส่วนคุณภาพน้ำของงานวิจัยนี้เน้นเปรียบเทียบที่การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในนาข้าวและแหล่งน้ำใกล้เคียงที่เกิดจากการจัดการน้ำแบบต่างๆ รวมทั้งดูผลจากคลองระบายน้ำชลประทานที่รับน้ำจากนาข้าวเกษตรกรที่ทำนาแบบดั้งเดิม วิเคราะห์เปรียบเทียบที่เวลาเดียวกันมีผลแตกต่างกันอย่างไรและตลอดฤดูกาลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเท่านั้น ทำให้มีการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบกันมีจำนวนน้อย ดังนั้นแบบจำลองที่ได้ทำขึ้นเป็นการนำเสนอแนวความคิดและดูการเปลี่ยนแปลงต่างๆแบบไม่ละเอียดมากนักภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่มีบรรทัดฐานใกล้เคียงกัน สำหรับผลลัพธ์ที่ต้องการจากแบบจำลองคือการ leaching ของแอมโมเนียมและไนเตรทที่ออกจากรากข้าวซึ่งมีการจัดการน้ำแบบต่างๆ และเป็นส่วนที่น่าจะไหลลงสู่คูระบายน้ำ ทั้งนี้จากการทดลองในคูระบายน้ำย่อยในสถานีทดลองชลประทานให้มีเพียงการรับน้ำจากการ leaching และไม่ให้มีการระบายน้ำจากนาข้าวลงสู่คูระบายน้ำโดยตรงตลอดฤดูกาล ผลจากการจำลองสมมูลไนโตรเจนในนาข้าวมีดังนี้คือ

ก. ผลการปรับเทียบ (calibration) พารามิเตอร์จากแบบจำลองสมมูลไนโตรเจน

จากการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองสมมูลไนโตรเจนในนาข้าวทั้ง 5 ค่าคือค่าสัดส่วนการสลายตัวของปุ๋ยที่แพร่กระจายเข้าไปในน้ำ (Δ), ค่าสัมประสิทธิ์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification coefficient, A), ค่าสัมประสิทธิ์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification coefficient, B), ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (water temperature coefficient, θ), ค่าสัมประสิทธิ์การดึงแอมโมเนียมไปใช้ (phytoplankton uptake coefficient, τ) โดยใช้วิธี optimization พบว่ามีแต่ละค่ามีค่าใกล้เคียงกันสำหรับการจัดการน้ำทั้ง 4 เงื่อนไขโดยมีค่าเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 15 อนึ่งค่าพารามิเตอร์ที่แนะนำเป็นค่าที่รวบรวมโดย (Yoshinaka *et al.*, 2004)

ตารางที่ 15 ค่าพารามิเตอร์จากการปรับเทียบแบบจำลองสมดุลไนโตรเจน

พารามิเตอร์	ค่าที่แนะนำ	ค่าที่เหมาะสม	หน่วย
Δ	0-1	0.2	-
A	.002-0.05	0.01	m day ⁻¹
B	.002-0.05	0.01-0.02	m day ⁻¹
θ	1.06-1.16	1.09	-
τ	0.01-2	0.01-0.02	day ⁻¹

ข. ผลการ simulation ความเข้มข้นและ leaching ของแอมโมเนียม

สำหรับ simulation ในแบบจำลองของการจัดการน้ำทั้ง 4 เงื่อนไขคือ SS, SA, AS และ AA ให้ผลของความเข้มข้นและ leaching ของแอมโมเนียมแสดงในภาพที่ 26 โดยพบว่าทุกการจัดการน้ำเมื่อมีการใส่ปุ๋ยทำให้เกิดความเข้มข้นของแอมโมเนียมสูงขึ้นมากในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 7-10 วันและต่อมามีการลดลงที่ค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในนาข้าวในเวลาใดๆ ด้วย อย่างไรก็ตามปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ การให้น้ำชลประทานและปริมาณฝนที่ตกก็มีผล โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและปริมาณของน้ำนั้นๆ ตลอดจนการดึงแอมโมเนียมไปใช้โดยพืชในช่วงการเจริญเติบโตต่างๆ และการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรท แต่ผลจากปุ๋ยจะให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนกว่า สำหรับค่าความเข้มข้นแอมโมเนียมรายวันของทั้ง 4 เงื่อนไขอยู่ในพิสัย 0.06-3.71, 0.01-6.02, 0.02-7.5 และ 0.02-7.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งพบว่าในกรณีที่มีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งร่วมอยู่ด้วยจะให้ค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นทั้งนี้เพราะปริมาณน้ำในนามีน้อยกว่านั่นเอง รวมทั้งค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 0.94, 1.19, 1.05, 1.11 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.0, 1.5, 1.4, 1.7 ตามลำดับ ในส่วนของค่า standard error สำหรับ simulation ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่การจัดการน้ำทั้ง 4 มีค่า 0.041, 0.069, 0.021 และ 0.032 ตามลำดับ

ส่วนค่าการ leaching ของแอมโมเนียมตลอดฤดูกาลของการจัดการน้ำทั้ง 4 เงื่อนไขมีค่าน้อยมากใกล้เคียงกันโดยมีค่า 2.39, 2.35, 2.33, และ 1.898 มิลลิกรัมต่อเฮกแตร์ต่อฤดูตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะดินส่วนใหญ่มีประจุลบดังนั้นจึงสามารถดึงแอมโมเนียมซึ่งมีประจุบวกไว้ในดินอีกทั้งความเข้มข้นในน้ำก็มีน้อยเช่นเดียวกันทำให้การไหลออกไปกับน้ำมีน้อยมากประมาณ 5×10^{-6}

7×10^{-6} % ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่ตลอดฤดูปลูก ดังนั้นค่าส่วนนี้ถือว่าน้อยมากอาจจะพิจารณาว่าไม่มีความสำคัญ

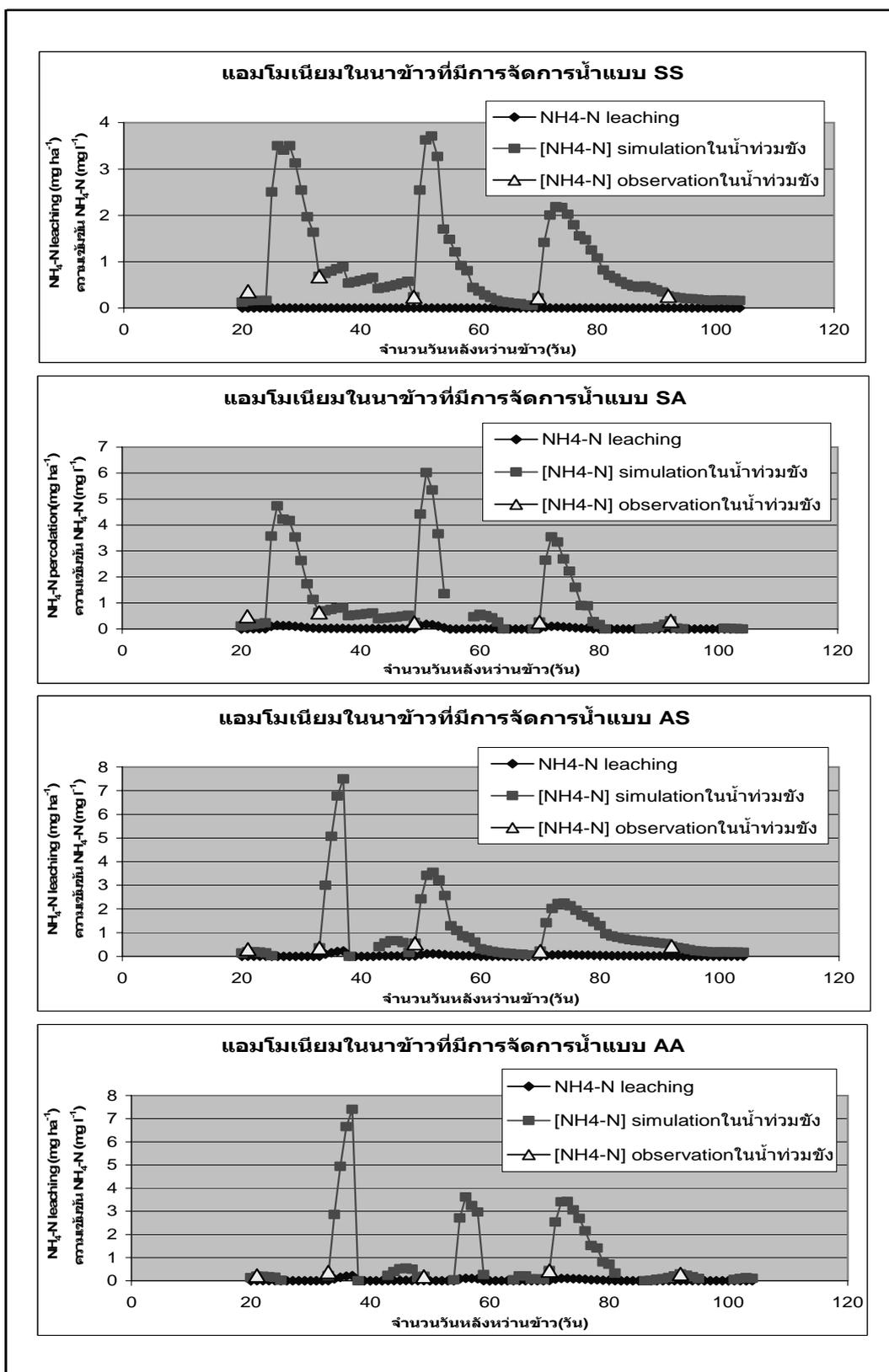
ก. ผลการ simulation ความเข้มข้นและ leaching ของไนเตรทจากนาข้าว

สำหรับ simulation ในแบบจำลองของการจัดการน้ำทั้ง 4 เงื่อนไขคือ SS, SA, AS และ AA ให้ผลของความเข้มข้นและ leaching ของไนเตรทแสดงในภาพที่ 27 โดยพบว่าทุกการจัดการน้ำผลของความเข้มข้นของไนเตรทมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับความเข้มข้นของแอมโมเนียม ทั้งนี้เพราะมีกระบวนการไนตริฟิเคชันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทตลอดจนการเพิ่มของความเข้มข้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในนาข้าวในเวลาใดๆ ด้วย และปัจจัยอื่นๆ เช่น การให้น้ำชลประทานและปริมาณฝนที่ตกก็มีผลช่วยเพิ่มปริมาณไนเตรท แต่อย่างไรก็ตามยังมีกระบวนการดีไนตริฟิเคชันหรือการเปลี่ยนรูปของไนเตรทไปเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์และไนโตรเจน ทำให้ค่าความเข้มข้นของไนเตรทลดลง สำหรับค่าความเข้มข้นไนเตรทรายวันของทั้ง 4 เงื่อนไขอยู่ในพิสัย 0.04 - 4.7, 0.15 - 4.97, 0.62 - 8.07 และ 0.04 - 32.06 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับรวมทั้งค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละการจัดการน้ำมีค่า 2.06, 2.04, 4.06, 9.34 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 1.4, 1.4, 1.8, 8.6 ตามลำดับ ส่วนค่า standard error ในการ simulation ค่าความเข้มข้นของไนเตรทที่การจัดการน้ำทั้ง 4 มีค่า 0.46, 0.63, 1×10^{-8} และ 4×10^{-6} ตามลำดับ

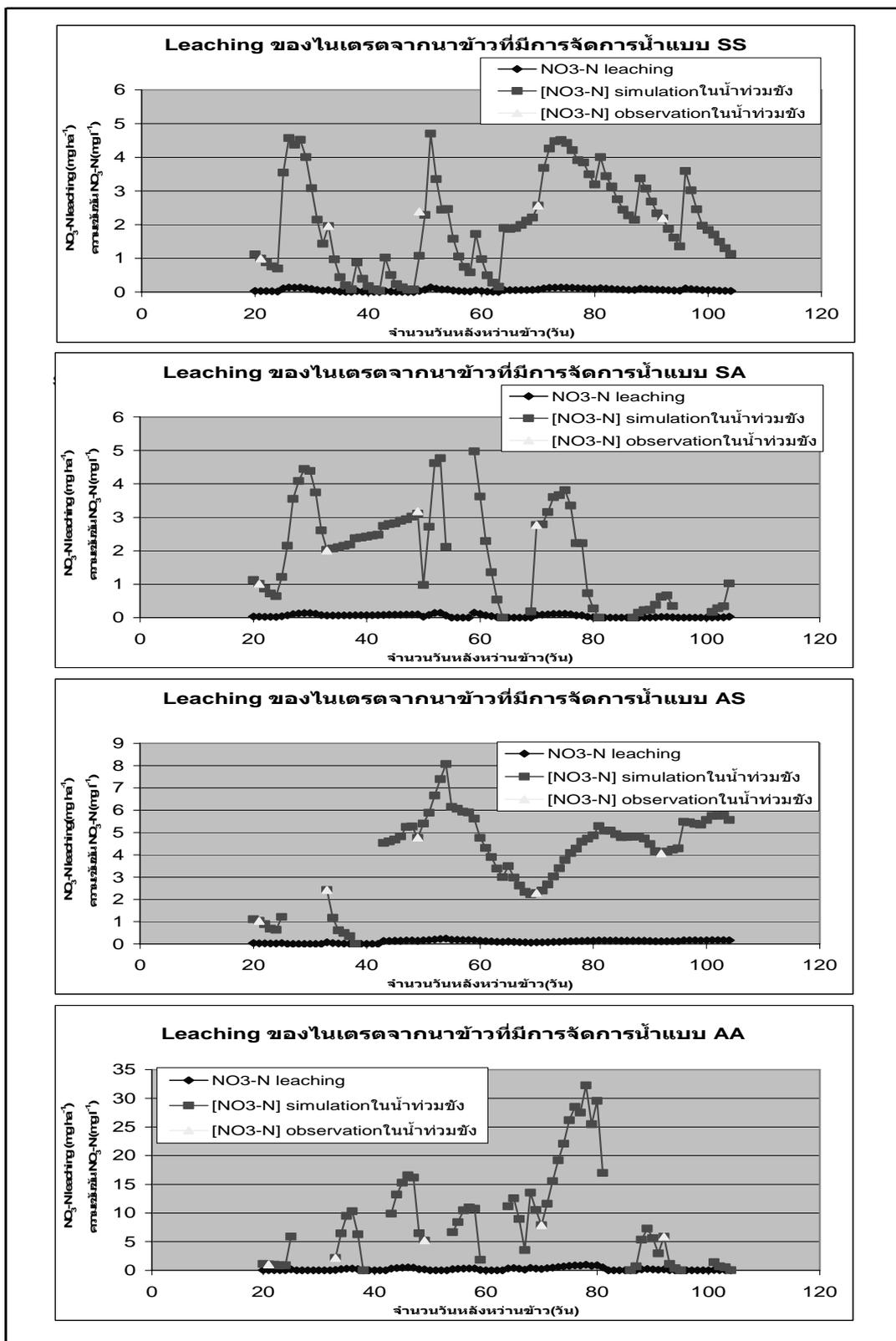
ทั้งนี้พบว่าในการจัดการน้ำที่มีแบบเปียกสลับแห้งร่วมด้วยให้ค่าความเข้มข้นที่สูงกว่าเพราะมีช่วงที่ดินมีออกซิเจนแทรกอยู่ก่อนที่จะส่งน้ำครั้งต่อไป ขณะที่ดินยังมีออกซิเจนอยู่จะไม่เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันดังนั้นแอมโมเนียมยังคงเปลี่ยนเป็นไนเตรทแต่ไนเตรทไม่เปลี่ยนไปเป็นก๊าซต่างๆ ทำให้ค่าความเข้มข้นของไนเตรทเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งปริมาณน้ำในนาขณะใดๆ ด้วย

ส่วนปริมาณการ leaching ของไนเตรทตลอดฤดูปลูกของการจัดการน้ำทั้ง 4 เงื่อนไข โดยให้ค่า 5.25, 4.04, 9.01 และ 15.97 มิลลิกรัมต่อเฮกแตร์ต่อฤดู โดยการจัดการน้ำแบบ AA > AS > SS > SA โดยค่าที่ได้ไม่มากนักแต่จะมากกว่าปริมาณของแอมโมเนียม ทั้งนี้เพราะดินส่วนใหญ่ที่มีประจุลบสามารถดึงไนเตรทได้น้อยกว่าการดึงแอมโมเนียม อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงรูปแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียมลดลงและเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรท อย่างไรก็ตามในการวัดค่าการรั่วซึมของน้ำจากนาข้าวควรจะให้ค่าที่ต่างกันเพราะปริมาณน้ำที่ท่วมขังในแต่ละเวลามีระดับต่างกันทำให้ค่า hydraulic gradient ต่างกันการรั่วซึมควร

จะต่างกันแต่เพราะความแตกต่างที่น้อยมากทำให้การวัดจริงในสนามให้ค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้น การ leaching จึงแปรผันตามความเข้มข้นไนเตรทในน้ำมากกว่า อนึ่งการที่ความเข้มข้นของ สารละลายในน้ำมีน้อยทำให้การไหลของสารออกไปกับน้ำมีน้อยซึ่งมีค่าประมาณ $4.4 \times 10^{-6} - 7.3 \times 10^{-5} \%$ ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่ตลอดฤดูกาลเท่านั้น ดังนั้นพิจารณาว่าเฉพาะการ leaching ของ ไนโตรเจนจากนาข้าวที่มีการจัดการน้ำทั้ง 4 เดือนใหม่ผลต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำใกล้เคียงน้อยมาก



ภาพที่ 26 simulation ความเข้มข้นแอมโมเนียมในน้ำที่ท่วมขังและการ leaching จากนาข้าว



ภาพที่ 27 simulation ความเข้มข้น ไนเตรทในน้ำที่ท่วมขังและการ leaching จากนาข้าว

3.2 ผลคุณภาพน้ำทั่วไปจากการเก็บข้อมูล

ก. ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำ

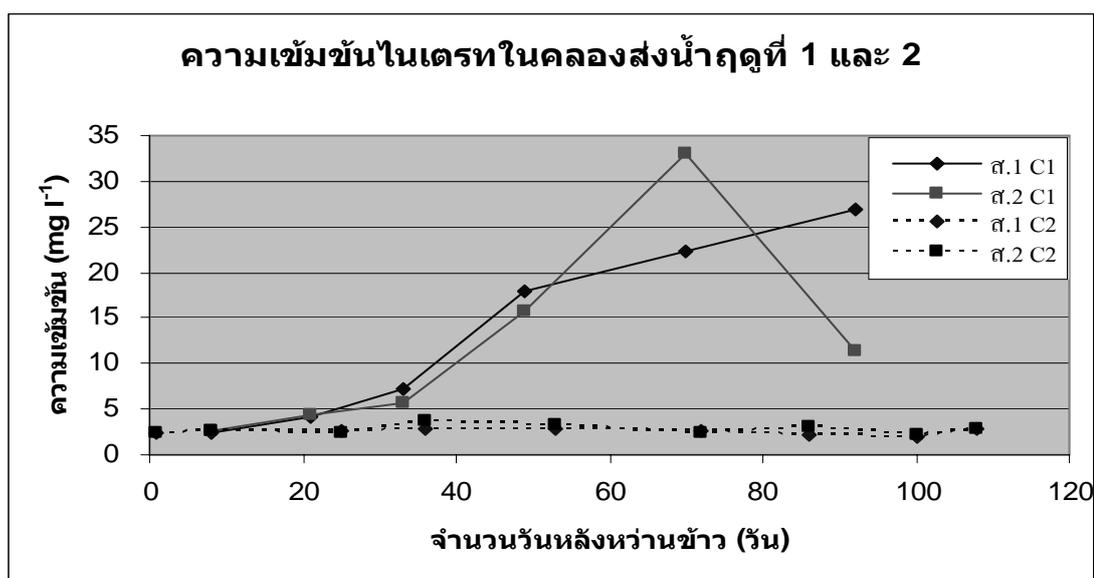
1) คลองส่งน้ำ

สำหรับความเข้มข้นไนเตรทที่วัดจากคลองส่งน้ำที่ส่งให้แปลงทดลองในสถานีวิจัยทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 (คลอง ศ.1) และคลองส่งน้ำที่ส่งให้แปลงนาเกษตรกรในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง (คลอง ศ. 2) ทั้งฤดูที่ 1 และ 2 แสดงดังภาพที่ 28 โดยในฤดูที่ 1 พบว่าในช่วงต้นของการเพาะปลูกในคลอง ศ.1 เก็บข้อมูลได้ค่าปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 2.3 - 4.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่อยๆ สูงขึ้นเมื่อเวลาของการเพาะปลูกช้าวมากขึ้นจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ส่วนในคลอง ศ.2 มีค่าค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงวันที่ 17 พฤษภาคม 2549 หลังจากนั้นมีการลดลงจนถึงช่วงสุกแก่ ค่าความเข้มข้นไนเตรทระหว่างฤดูของคลอง ศ.1 และ ศ.2 มีค่าอยู่ในพิสัย 2.3 – 26.8 และ 2.7- 33 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยที่ 13.5 และ 12.2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าที่ค่อนข้างต่างกันอย่างชัดเจนในต่างเวลาอาจเป็นเพราะการรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่กลองซึ่งคุณภาพน้ำจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณสารละลายในพื้นที่ต้นน้ำที่ลงสู่อ่างเก็บน้ำโดยตรง ปฏิกิริยาเคมีของสารละลายภายในอ่างเก็บน้ำแต่ละช่วงเวลา ปริมาณฝนและความเข้มข้นของสารในน้ำฝนที่ตกลงมา ปริมาณน้ำต้นทุนและที่มีอยู่ ตลอดจนบางจุดในคลองชลประทานมีการนำรถไถขนาดเล็กที่มีเศษดินติดอยู่ลงไปล้างรวมทั้งมีการนำสัตว์เลี้ยงลงไปในคลองทำให้มีผลต่อคุณภาพน้ำเช่นกัน

ส่วนในฤดูที่ 2 ความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าน้อยกว่าในฤดูที่ 1 รวมทั้งมีค่าค่อนข้างจะสม่ำเสมอตลอดฤดู โดยค่าความเข้มข้นไนเตรทระหว่างฤดูของคลอง ศ.1 และ ศ.2 มีค่าอยู่ในพิสัย 2.0 – 2.9 และ 2.1- 3.7 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยที่ 2.6 และ 2.8 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ทั้งนี้อาจเพราะมีปริมาณฝนตกลงมามากเกือบตลอดฤดูกาลและมีความเข้มข้นไนเตรทไม่มากนักเมื่อผสมกับน้ำในคลองชลประทานทำให้ความเข้มข้นลดลง

อนึ่ง กรมควบคุมมลพิษ (2551) ระบุว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน รวมทั้งเป็นประโยชน์เพื่อการเกษตร กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของไนเตรทไม่เกิน 5 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ดังนั้นในฤดูที่ 2 ค่าไนเตรทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ขณะที่ในฤดูที่ 1 หลังจากที่เกษตรกรมีกิจกรรมในการใส่ปุ๋ยพบว่าส่งผลให้ความเข้มข้นของไนเตรทสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้เป็นเพราะเริ่มมีฝนตกลงมามากและมีการระบายน้ำจากนาข้าวบริเวณเหนือน้ำซึ่งมีผลต่อบริเวณต้นน้ำของอ่างเก็บน้ำ ส่วนในฤดูที่ 2 หลังจากมีการใส่ปุ๋ยปริมาณฝนเริ่มน้อยลงการระบายน้ำจึงลดน้อยลงเช่นกัน ทำให้ค่าไนเตรทมีน้อยกว่าในฤดูที่ 1



ภาพที่ 28 ความเข้มข้นไนเตรทในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2

2) คลองระบายน้ำ

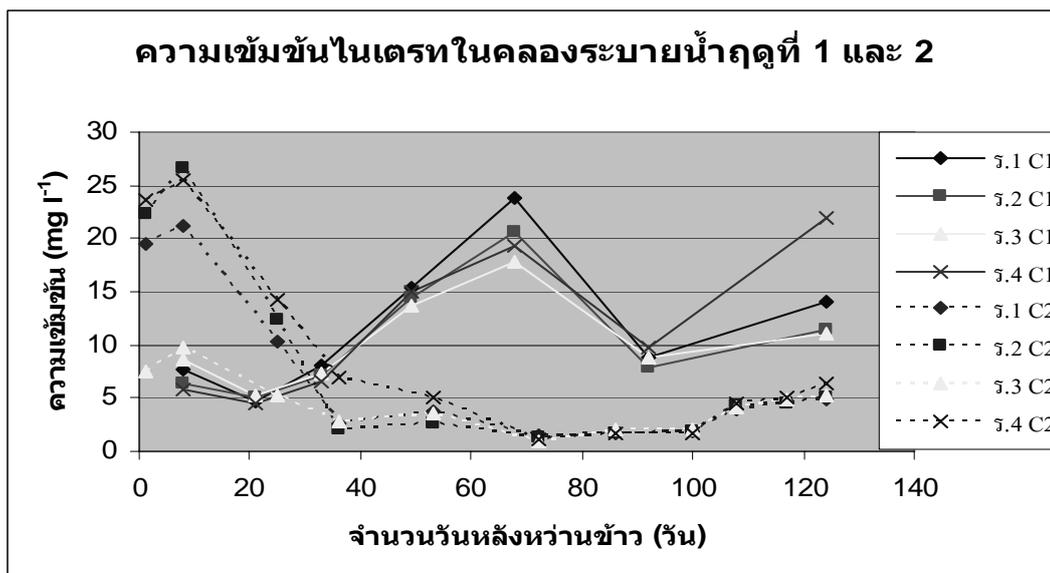
ความเข้มข้นไนเตรทที่วัดจากจุดต่างๆในคลองระบายน้ำ โดย จุด ร. 1 เป็นจุดในคูระบายน้ำสายย่อยที่รับน้ำจากนาเกษตรกรก่อนที่จะลงสู่คลองระบายน้ำชลประทาน จุด ร.2, ร.3 และ ร.4 เป็นจุดวัดน้ำในคลองระบายน้ำชลประทานที่รับน้ำจากพื้นที่นาข้าวของเกษตรกรในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองแสดงในภาพที่ 29 โดยฤดูที่ 1 พบว่าแนวโน้มของปริมาณไนเตรทของแต่ละจุดในเวลาต่างๆ มีค่าไปในแนวทางเดียวกันคือ ในช่วงต้นของการเพาะปลูกหลังจากมีการระบายน้ำเพื่อหว่านข้าวแล้ว เก็บข้อมูลได้ค่าปริมาณไนเตรทในจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า 7.7, 6.3, 8.6 และ 5.8 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ต่อมาค่าลดลงในวันที่ 29 มีนาคม ทั้งนี้เพราะหลังจากมีการระบายน้ำก่อนหว่านข้าวแล้วความชื้นในนาข้าวมีน้อยมากจนกระทั่งไม่มีน้ำรั่วซึมจากแปลงนาไปสู่คลองระบายน้ำ ประกอบกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารละลายของไนโตรเจนในน้ำจึงทำให้ค่าไนเตรทลดลง

หลังจากนั้นในวันที่ 2 และ 27 เมษายนมีการระบายน้ำเพื่อใส่ปุ๋ย รวมทั้งการมีน้ำท่วมขังในแปลงนา ตลอดเวลาทำให้การรั่วซึมของน้ำไปสู่คลองระบายมากขึ้น รวมทั้งมีฝนตกมากและปริมาณไนเตรทในน้ำฝนมีค่าสูงทำให้ความเข้มข้นของไนเตรทสูงขึ้นเมื่อวัดในวันที่ 17 พฤษภาคม อนึ่งถึงแม้ว่าแปลงนาเกษตรกรที่เป็นตัวแทนจะใส่ปุ๋ยในวันที่ 17 พฤษภาคมก็ตาม แต่ในสภาพทั่วไปแล้วแปลงนาอื่นๆ ก็ไม่ได้ทำกิจกรรมในวันเดียวกัน อาจจะมีการระบายน้ำไปก่อนหรือหลังจากนั้น แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมต่างๆ อยู่ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันดังนั้นค่าไนเตรทจึงสูงขึ้นมากในช่วงเวลานี้ หลังจากมีการใส่ปุ๋ยครบทั้ง 3 ครั้งแล้วปล่อยเวลาไว้ระยะหนึ่ง เก็บข้อมูลอีกครั้งพบว่าค่าไนเตรทลดลง ทั้งนี้เพราะไม่มีการระบายน้ำโดยตรงจากนาข้าวถึงแม้ว่าจะมีการรั่วซึมตลอดเวลา รวมทั้งการใช้ไนเตรทในปฏิกิริยาต่างๆ ในคลองระบายน้ำและปัจจัยหลักน่าจะเกิดจากปริมาณฝนที่ตกลงมาแต่เนื่องจากความเข้มข้นของไนเตรทในฝนลดลงจากช่วงต้นฤดูมาก ทำให้เมื่อผสมกับน้ำในคลองระบายแล้วค่าไนเตรทจึงลดลง ตลอดจนสารละลายไนเตรทจากนาข้าวที่รั่วซึมลงคลองระบายน้ำก็ลดลงเช่นกัน หลังจากนั้นก่อนการเก็บเกี่ยวมีการระบายน้ำทั้งหมดออกจากแปลงนาค่าไนเตรทจึงสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

ค่าไนเตรทระหว่างฤดูการเพาะปลูกของจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 4.7 – 23.8, 5 - 20.7, 5.2- 17.9 และ 4.5 - 22 รวมทั้งค่าเฉลี่ยตลอดฤดูมีค่า 11.8, 10.41, 10.3 และ 11.9 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งค่าไม่แตกต่างกันมากนักและเมื่อพิจารณาในทุกช่วงเวลาที่สรุปไม่ได้ว่าที่จุดไหนมีค่ามากกว่ากันเพราะค่าจะมากกว่าและน้อยกว่าสลับกันไป ขึ้นกับกิจกรรมในพื้นที่และปริมาณน้ำในคลองที่เวลานั้นๆ

สำหรับจุดที่ 2 ในช่วงต้นฤดูมีค่าความเข้มข้นไนเตรทสูงขึ้นซึ่งน่าต่อเนื่องมาจากปลายฤดูที่ 1 ประกอบกับมีการระบายน้ำจากนาข้าวก่อนการหว่าน ต่อมามีการเก็บข้อมูลในวันที่ 29 สิงหาคม พบว่ามีค่าสูงสุด หลังจากนั้นค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งๆ ที่มีการใส่ปุ๋ย ทั้งนี้เพราะมีฝนตกลงมาในคลองระบายน้ำโดยตรงเป็นปริมาณมากและมีความเข้มข้นไนเตรทในน้ำฝนน้อย ตลอดจนน้ำที่ท่วมขังในนาข้าวเมื่อมีฝนตกมาผสมทำให้ค่าความเข้มข้นไนเตรทน้อยลง ดังนั้นสารละลายที่ถูกชะล้างจากนาข้าวลงไปสู่คลองระบายน้ำก็มีความเข้มข้นน้อยเช่นกัน รวมทั้งในช่วงปลายฤดูค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะมีการระบายน้ำลงไป ในคลองระบายน้ำอย่างต่อเนื่องแต่อิทธิพลจากปริมาณฝนเริ่มน้อยลง ค่าความเข้มข้นไนเตรทระหว่างฤดูของจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 1.5 – 21.1, 1.4 – 26.6, 1 – 9.7 และ 1.2 – 25.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยตลอดฤดูมีค่า 6.9, 7.7, 4.4 และ 8.7 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งค่าในแต่ละช่วงเวลาไม่แตกต่างกันมากนัก

จากผลในคลองระบายน้ำทั้ง 2 ฤดู พบว่าฤดูที่ 1 มีแนวโน้มที่ค่าไนเตรทในน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือเกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในฤดูที่ 2 ในช่วงต้นฤดูเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน หลังจากนั้นค่าค่อยๆต่ำลงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานจนถึงปลายฤดู ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นไนเตรทตลอดการเพาะปลูกทั้ง 2 ฤดูพบว่ามีค่าค่อนข้างชัดเจน



ภาพที่ 29 ความเข้มข้นไนเตรทในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

3) คุ้ระบายน้ำ

ความเข้มข้นไนเตรทที่วัดจากจุดต่างๆ ในคุ้ระบายน้ำแสดงในภาพที่ 30 โดยจุด ค.1, ค.2, ค.3 และ ค.4 เป็นจุดวัดน้ำในคุ้ระบายน้ำที่ติดกับนาข้าวที่มีการจัดการน้ำแบบเงื่อนไข SS, SA, AS และ AA ในแปลงทดลองของสถานีการใช้น้ำชลประทานตามลำดับไม่มีการระบายน้ำโดยตรงลงในคู พิจารณาในส่วนของการรั่วซึม ส่วน จุด ค.5 เป็นจุดในคุ้ระบายน้ำที่ติดกับนาข้าวเกษตรกรมีการจัดการน้ำแบบเงื่อนไข TT พิจารณาทั้งการระบายน้ำและการรั่วซึมเพื่อดูความแตกต่างที่เกิดขึ้นในกรณีปกติของเกษตรกรและกรณีที่พยายามลดผลกระทบผล

สำหรับฤดูที่ 1 ในช่วงต้นของการเพาะปลูก แต่ละจุดมีค่าความเข้มข้นไนเตรทอยู่ในพิสัยใกล้เคียงกันคือ 3.7 – 3.9 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากระบายน้ำออกไปจากแปลงนาทำให้นาข้าวแห้งในช่วงแรก ปริมาณไนเตรทที่วัดได้ลดลงจากเดิมในทุกจุด ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากสารละลาย

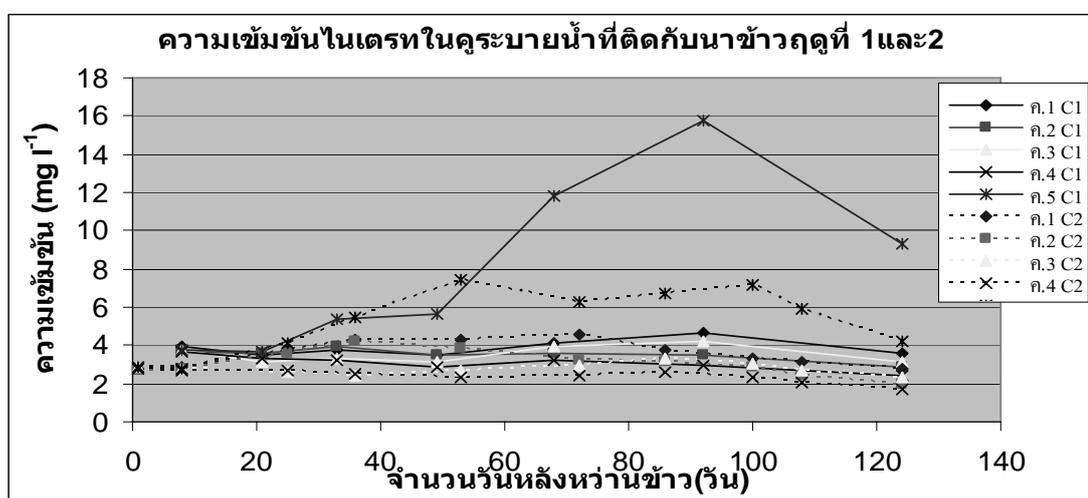
จากการรั่วซึมในนาข้าวสู่กระแสน้ำน้อยกว่าการทำปฏิกิริยาเคมีของไนโตรเจนซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนไปในกระบวนการ ดังนั้นค่าไนเตรทจึงลดลง อย่างไรก็ตามค่าไนเตรทจากการจัดการน้ำแบบน้ำตื้นหรือ SWD (ช่วงที่สองของ SS และ SA) คือให้น้ำท่วมขังในนาข้าวแบบ 10-5 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าแบบเปียกสลับแห้งหรือ AWD (ช่วงที่สองของ AS และ AA) คือให้น้ำท่วมขังแบบ 5-5 เซนติเมตรเล็กน้อยต่างๆ ที่เพิ่งส่งน้ำให้พื้นที่ 1 วัน ทั้งนี้เพราะในช่วงก่อนจะส่งน้ำดินมีความชื้นน้อยมาก ต่อมาเมื่อมีการให้น้ำท่วมขังการไหลของน้ำในดินที่แห้งจะมีความเร็วมากกว่าและที่ระดับน้ำสูงกว่า จะมีความดันการไหลที่มากกว่า ส่งผลให้การรั่วซึมมากกว่า ปริมาณสารละลายที่ออกไปสู่กระแสน้ำก็มากกว่าเช่นกัน ต่อมาเมื่อการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เวลาผ่านไป 8 วัน ทำการเก็บข้อมูลพบว่าค่าไนเตรทเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในการจัดการน้ำแบบ SWD ทั้งนี้เพราะมีการรั่วซึมของน้ำตลอดเวลาที่ปุ๋ยที่มีความเข้มข้นสูงออกไปสู่กระแสน้ำแต่เมื่อเวลาผ่านไป 24 วันหลังใส่ปุ๋ยค่าไนเตรทกลับลดลง สาเหตุเพราะปริมาณไนเตรทที่ละลายจากปุ๋ยจะแปรผันตามเวลาเมื่อเวลามากขึ้นความเข้มข้นจะเหลือน้อยลงทำให้การรั่วซึมไปกับน้ำลดลง ในขณะที่การจัดการน้ำแบบ AWD จะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เพราะการรั่วซึมจากนาข้าวมีน้อยมาก ทำให้สารละลายที่รั่วน้อยแต่อย่างไรก็ตามการใช้ไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในกระแสน้ำยังคงมีอยู่ ดังนั้นแนวโน้มของไนเตรทจึงค่อนข้างจะลดลงตลอดการจัดการน้ำ

ต่อมาช่วงที่สามของการจัดการน้ำกรณี SS ยังคงจัดการน้ำแบบ SWD แต่กรณี AS เปลี่ยนจาก AWD เป็น SWD แนวโน้มของกรณี SS ยังคงมีค่าไนเตรทมากขึ้น เพราะน้ำยังคงรั่วซึมแบบต่อเนื่องตลอดจนมีการใส่ปุ๋ยในช่วงเวลานี้ แต่หลังจากที่มีการระบายน้ำและเก็บข้อมูลช่วงเก็บเกี่ยวพบว่าค่าไนเตรทลดลง สำหรับกรณี AS ค่าไนเตรทเริ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณี SS แต่ค่าความเข้มข้นที่เวลาต่างๆน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะค่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นของช่วงที่สามน้อยกว่านั่นเอง

อนึ่งเมื่อพิจารณาช่วงที่สามของกรณี SA ซึ่งเปลี่ยนการจัดการน้ำจาก SWD เป็น AWD แต่กรณี AA ยังคงจัดการน้ำแบบ AWD แนวโน้มของ SA มีค่าไนเตรทลดลงเพราะน้ำรั่วซึมออกมาน้อยทั้งที่มีการใส่ปุ๋ย และหลังจากที่มีการระบายน้ำและเก็บข้อมูลช่วงเก็บเกี่ยวพบว่าค่าไนเตรทลดลงมากกว่าช่วงก่อนนั้น สำหรับกรณี AA ค่าไนเตรทยังคงมีแนวโน้มเหมือนช่วงที่สองคือลดลงและลดลงมากกว่าเมื่อเก็บข้อมูลในช่วงเก็บเกี่ยว ตลอดจนค่าความเข้มข้นที่เวลาต่างๆของกรณี AA น้อยกว่ากรณี SA ทั้งนี้เพราะค่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นของช่วงที่สามน้อยกว่า ส่วนกรณี TT ซึ่งเป็นการทำนาแบบดั้งเดิมของเกษตรกรมีการปล่อยให้น้ำท่วมขังประมาณ 20-30

เซนติเมตรมีการระบายน้ำก่อนการใส่ปุ๋ย พบว่ามีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่สองและสาม และลดลงในช่วงเก็บเกี่ยว ความเข้มข้นไนเตรทในกรณี SS, SA, AS, AA และ TT อยู่ในพิสัย 3.5-4.7, 2.9-3.9, 3.1-4.2, 2.4-3.7 และ 3.7-15.8 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งค่าเฉลี่ยคือ 3.8, 3.5, 3.5, 3.1 และ 7.9 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าใน 4 กรณีแรกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่ TT มีค่าสูงกว่ามาก ดังนั้นจะเห็นว่าการมีน้ำขังตลอดเวลาและระดับที่สูงกว่าจะทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำและนำสารละลายจากนาข้าวไปสู่พื้นที่ใกล้เคียงมากกว่า รวมทั้งการระบายน้ำสู่คูระบายน้ำก็เพิ่มปริมาณสารละลายในน้ำจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำเช่นกัน

ส่วนฤดูที่ 2 ในกรณี SS, SA, AS, AA ให้ค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกันและมีค่าแตกต่างกับในฤดูที่ 1 น้อยมาก แต่ในกรณี TT ค่าในแต่ละเวลามีแนวโน้มลดลงจากฤดูที่ 1 ซึ่งอาจมีสาเหตุจากฝนนั่นเอง อนึ่งใน 4 กรณีแรกปริมาณน้ำฝนที่ตกไม่ทำให้ค่าความเข้มข้นแตกต่างกับฤดูที่ 1 มากนัก ทั้งนี้เพราะปริมาณสารในคูระบายน้ำมีน้อยและความเข้มข้นฝนใกล้เคียงกับในน้ำเดิม ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนนักโดยความเข้มข้นไนเตรทในกรณี SS, SA, AS, AA และ TT อยู่ในพิสัย 2.8 - 4.5, 2.0 - 4.2, 2.3 - 3.3, 1.7 - 2.8 และ 2.8 - 7.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ รวมทั้งค่าเฉลี่ยคือ 3.6, 3.1, 2.8, 2.4 และ 5.3 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ



ภาพที่ 30 ความเข้มข้นไนเตรทในคูระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

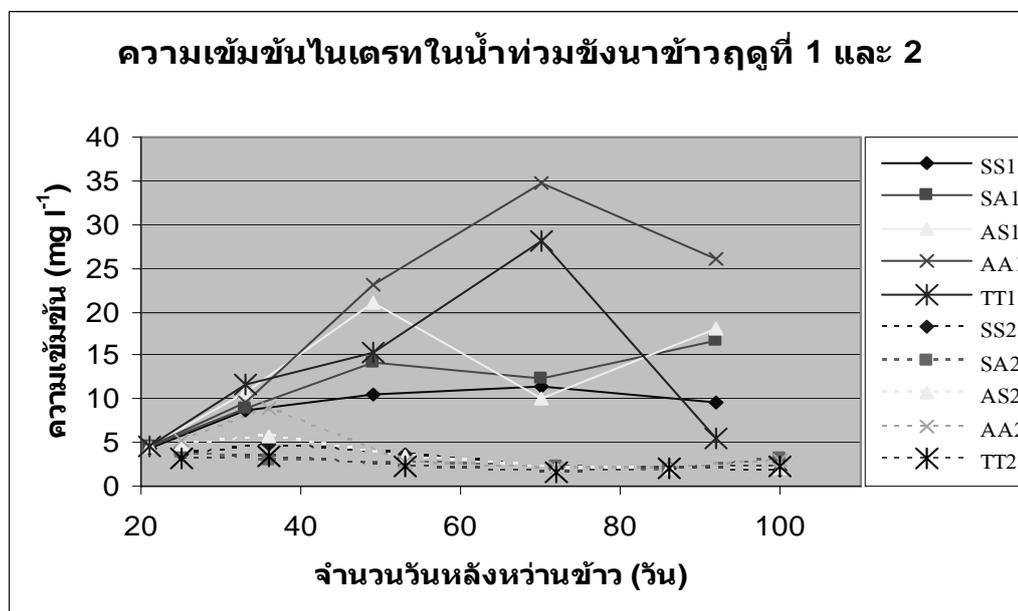
ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าไนเตรทในกรณีต่างๆ ที่ทำการทดลองทั้ง 2 ฤดูพบว่า กรณี SS มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำน้อย กรณี SA และ AS มีผลกระทบน้อยกว่า กรณี AA มีผลกระทบ น้อยที่สุด ส่วนกรณี TT มีผลกระทบมากกว่ากรณีอื่นๆ สำหรับการรั่วซึมของสารละลายจากนาข้าว ลงสู่ระบายน้ำได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 5.1 การ simulation แบบจำลองสมดุลไนโตรเจน แต่ทั้งนี้ นอกจากการรั่วซึมจากนาข้าวแล้ว ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระบายน้ำเองก็มีผลต่อความเข้มข้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำของ กรมควบคุมมลพิษ (2551) พบว่า ความเข้มข้นไนเตรทจากระบายน้ำที่ติดกับนาข้าวจากการจัดการน้ำแบบดั้งเดิมทั้ง 2 ฤดูมีแนวโน้ม ของค่าเกินมาตรฐาน ขณะที่การจัดการน้ำแบบอื่นๆอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือน้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อ ลิตรซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะในน้ำ

4) ในนาข้าว

ความเข้มข้นไนเตรทที่วัดจากในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำกรณี SS, SA, AS, AA และ TT แสดงในภาพที่ 31 โดยฤดูที่ 1 พบว่าในช่วงก่อนมีการใส่ปุ๋ยความเข้มข้นของไนเตรทมีค่า ใกล้เคียงกันคือมีค่าระหว่าง 4.4 - 4.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อมามีการใส่ปุ๋ย มีการให้น้ำชลประทาน และมีน้ำฝนตกลงมา มีการสลายตัวของไนโตรเจนรวมทั้งพืชยังมีความต้องการใช้น้ำไม่มากนัก ค่าไนเตรทในนาข้าวทุกแปลงมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 26 เมษายน หลังจากนั้นแนวโน้มที่ต่างกันคือ มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงจนถึงปลายฤดู โดยความเข้มข้นไนเตรทในกรณี SS, SA, AS, AA และ TT อยู่ในพิสัย 4.4 – 11.4, 4.5 – 16.8, 4.6 – 21.1 , 4.5 – 34.8 และ 4.5 – 28.2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ รวมทั้งค่าเฉลี่ยคือ 8.9, 11.3, 12.9, 19.6 และ 13.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สำหรับในฤดูที่ 2 ความเข้มข้นไนเตรทในกรณี SS, SA, AS, AA และ TT อยู่ในพิสัย 1.9 – 4.8, 1.8 – 3.2, 2 – 5.8 , 2 – 8.9 และ 1.5 – 3.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ รวมทั้งค่าเฉลี่ยคือ 3.0, 2.8, 3.4, 4.0 และ 2.4 มิลลิกรัมต่อ ลิตรตามลำดับทั้งนี้ผลในทุกช่วงเวลามีค่าใกล้เคียงกันแต่มีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าฤดูที่ 1 มากสาเหตุ จากการที่ฝนตกลงมามากนั่นเอง

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาการจัดการน้ำพบว่าแบบ AWD มีแนวโน้ม ที่ความเข้มข้นไนเตรทเหลือในนาข้าวมากกว่าการจัดการน้ำแบบ SWD ทั้งนี้สาเหตุใหญ่เพราะมีน้ำ ในนาข้าวน้อยและมีการรั่วซึมออกไปน้อยกว่านั่นเอง ส่วนกรณี TT ที่มีน้ำขังมากกว่าในตลอดเวลา พบว่ามีปริมาณไนเตรทสูงขึ้นตลอดจนถึงปลายฤดูค่าจึงลดลง ซึ่งค่าไนเตรทเมื่อเปรียบเทียบกับกรณี SS พบว่ามีค่าสูงกว่าซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้เพราะในระบายน้ำก็มีค่าสูงกว่าเช่นกัน ดังนั้นน่าจะเกิด

จากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรมีปริมาณมากกว่าในแปลงทดลองนั่นเอง สำหรับค่าไนเตรทในกรณีต่างๆ ที่ทำการทดลองโดยควบคุมการใส่ปุ๋ยพบว่า กรณี SS มีไนเตรทเหลือในน้ำข้าน้อย กรณี SA และ AS มีไนเตรทเหลือมากกว่า และกรณี AA มีเหลือมากที่สุด รวมทั้งค่าไนเตรทที่วัดได้ออยู่ในมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำขององค์การอนามัยโลกที่ได้กำหนดให้ปริมาณไนเตรทที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมีค่าไม่เกิน 45 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามค่าที่เกิดขึ้นก็มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นจนเป็นอันตรายได้หากขาดการตระหนักในการใส่ปุ๋ย สำหรับผลต่างๆเกี่ยวกับค่า simulation ไนเตรทในน้ำที่ท่วมขังนาข้าวได้กล่าวไว้อย่างละเอียดในหัวข้อ 5.1 ผลจากแบบจำลองสมดุลไนโตรเจนในนาข้าว



ภาพที่ 31 ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำท่วมขังนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2

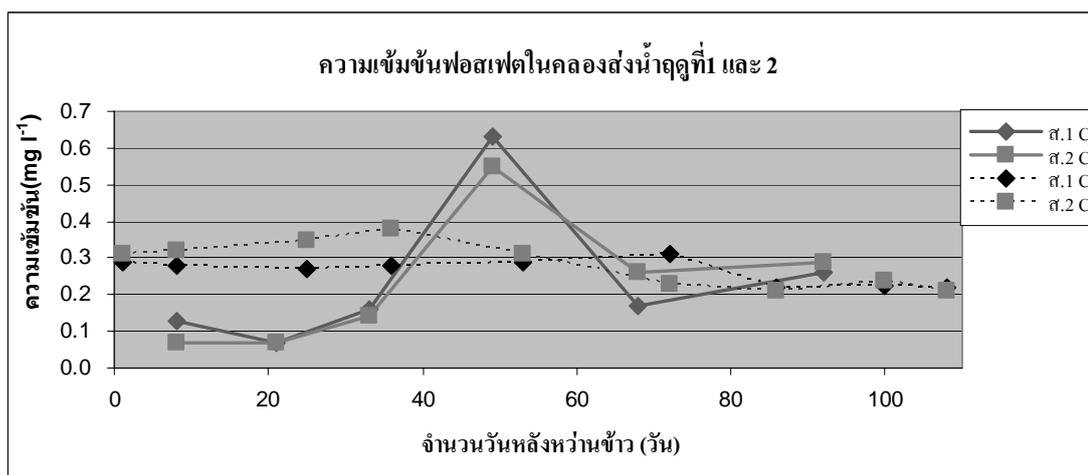
ข. ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำ

1) คลองส่งน้ำ

ความเข้มข้นฟอสเฟตที่วัดจากคลองส่งน้ำคือคลอง ส.1 และ ส. 2 แสดงในภาพที่ 32 พบว่าสำหรับฤดูที่ 1 ในช่วงต้นของการเพาะปลูกและช่วงที่มีการจัดการน้ำในช่วงที่สองมีค่าฟอสเฟตน้อยใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 0.07 – 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่อยๆสูงขึ้นสูงสุดในวันที่ 26 เมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่เกษตรกรมีการระบายน้ำชะล้างปุ๋ยที่เหลือในดินและน้ำหลังจากการใส่ปุ๋ย

ครั้งที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบของสารฟอสฟอรัสออกไป ส่งผลกระทบต่อต้นน้ำของคลองส่งน้ำ ต่อมา ความเข้มข้นค่อนข้างลดลงเพราะพืชน้ำสารละลายไปใช้รวมทั้งมีการตกตะกอนของฟอสเฟตในดิน ประกอบกับไม่มีการใส่ปุ๋ยที่มีส่วนผสมฟอสฟอรัสเพิ่มหรืออาจมีใส่ในบางแปลงแต่พื้นที่น้อยมาก ทำให้เมื่อมีการระบายน้ำครั้งต่อไป ปริมาณฟอสเฟตจึงลดลงค่าความเข้มข้นในทั้งสองคลองน้อยมาก ใกล้เคียงกันคืออยู่ในพิสัย 0.07-0.63 และ 0.007-0.55 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของทั้งสองคลองคือ 0.24 และ 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

ส่วนในฤดูที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและหลังจากวันที่ 1 พืชจิกายนมีค่าค่อนข้างลดลงแต่ค่าตลอดฤดูไม่ได้แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามในช่วงต้นที่มีการใส่ปุ๋ยที่มีส่วนผสมฟอสฟอรัสพบว่าในฤดูที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นจากฤดูที่ 1 ทั้งนี้เพราะการที่มีฝนตกลงมาจะทำให้เกิดการชะล้างหน้าดินสูงมีตะกอนของสารต่างๆ แพร่กระจายไปด้วย โดยค่าความเข้มข้นในทั้งสองคลองน้อยมากใกล้เคียงกันคืออยู่ในพิสัย 0.22-0.31 และ 0.21-0.38 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของทั้งสองคลองคือ 0.26 และ 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ทั้งนี้ Fair *et al.* (1971) ระบุว่าแม่น้ำที่จะเกิดมลภาวะจะมีค่าฟอสเฟตมากกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นค่าฟอสเฟตในน้ำทั้ง 2 ฤดู มีแนวโน้มค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานจึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ยกเว้นฤดูที่ 1 ในช่วงที่มีการระบายน้ำก่อนใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 พบว่าความเข้มข้นฟอสเฟตเกินกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อยแต่เป็นช่วงสั้นๆ เท่านั้น

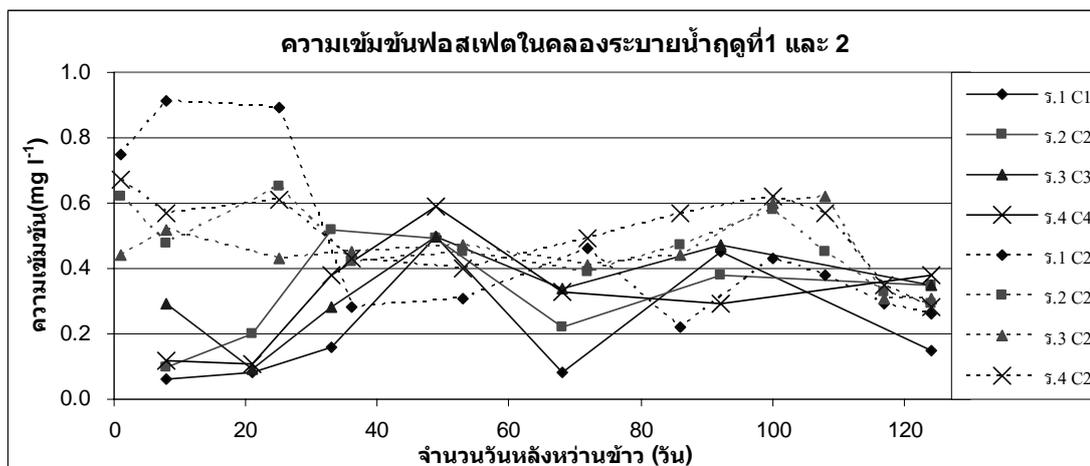


ภาพที่ 32 ความเข้มข้นฟอสเฟตในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2

2) คลองระบายน้ำ

ความเข้มข้นฟอสเฟตที่วัดจากจุดต่างๆ ในคลองระบายน้ำคือ จุด ร. 1 ,ร.2 , ร.3 และ ร.4 แสดงในภาพที่ 33 สำหรับในฤดูที่ 1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือในช่วงก่อนการใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.06 - 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อมาเมื่อมีแนวโน้มความเข้มข้นมากกว่าคือมีค่าอยู่ในพิสัย 0.08 – 0.59 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าที่สูงเกิดขึ้นหลังจากมีการใส่ปุ๋ยครั้งแรก ทั้งนี้เพราะเกิดการสลายตัวของปุ๋ยและรั่วซึมไปกับน้ำหรือและอาจเป็นเพราะฟอสฟอรัสเมื่อละลายน้ำแล้วตกตะกอนในดิน เมื่อมีการระบายน้ำลงคลองระบายน้ำและมีหน้าดินติดออกไปด้วยทำให้ค่าของฟอสเฟตมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่าที่เริ่มเพิ่มขึ้นจะเร็วกว่าในคลองส่งน้ำเพราะระยะทางของคลองระบายน้ำจะใกล้กว่ามากประกอบกับเมื่อมีใช้เวลาในการเดินทางของน้ำนานกว่าจะทำให้เกิดการตกตะกอนระหว่างทางมากกว่า ดังนั้นค่าในคลองส่งน้ำจึงมีแนวโน้มน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับคลองระบายน้ำ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นทั้ง 4 จุดในคลองระบายน้ำมีค่า 0.21 , 0.32, 0.33 และ 0.31 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าตลอดฤดูอยู่ในพิสัย 0.06-0.45, 0.10 - 0.52, 0.09- 0.47 และ 0.11-0.59 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

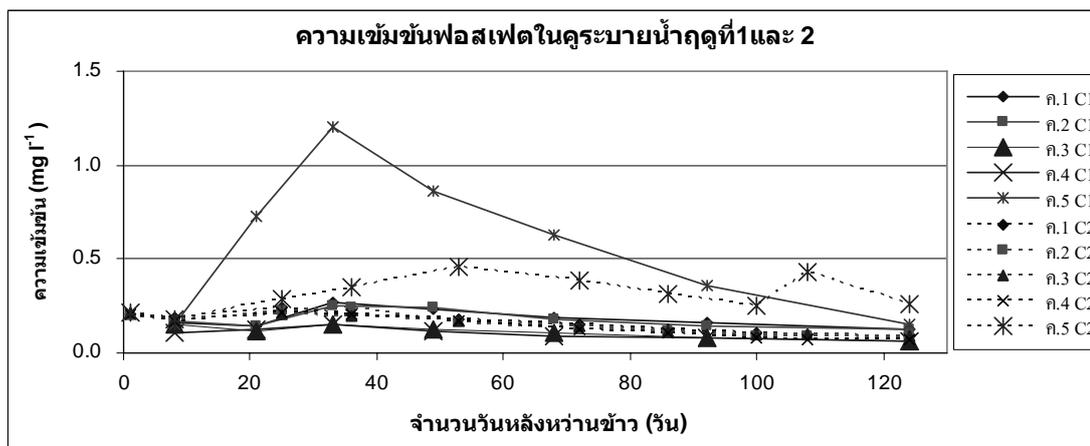
ส่วนฤดูที่ 2 ในช่วงต้นฤดูมีฝนตกลงมามากพบว่ามีค่าความเข้มข้นในคลองระบายน้ำสูงกว่าในฤดูที่ 1 ส่วนในช่วงกลางและปลายฤดูจะมีค่าลดลงแต่มีค่าใกล้เคียงกับฤดูที่ 1 ทั้งนี้เพราะในช่วงดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยที่มีส่วนผสมของฟอสฟอรัสน้อยมาก สำหรับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นทั้ง 4 จุดในคลองระบายน้ำมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.47 , 0.47, 0.45 และ 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าตลอดฤดูอยู่ในพิสัย 0.26-0.91, 0.29 - 0.65, 0.31- 0.62 และ 0.28-0.67 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ พิจารณาค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตพบว่าในฤดูที่ 1 และ 2 มีแนวโน้มที่มีค่าน้อยกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร คือไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ยกเว้นในช่วงต้นฤดูที่ 2 ที่มีค่าเกินมาตรฐานของ (Fair *et al.*, 1971) เล็กน้อย



ภาพที่ 33 ความเข้มข้นฟอสเฟตในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

3) ระบายน้ำ

ความเข้มข้นฟอสเฟตที่วัดจากจุดต่างๆ ในคูระบายน้ำที่รับน้ำจากนาข้าวคือที่จุด ค.1, ค.2, ค.3 และ ค.4 แสดงในภาพที่ 34 พบว่าในทั้งสองฤดูมีค่าน้อยมากใกล้เคียงกันคืออยู่ในพิสัย 0.06 - 0.27 และ 0.07-0.24 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ในขณะที่จุด ค.5 ทั้งสองฤดูมีความเข้มข้นมากกว่าคืออยู่ในพิสัย 0.15 - 0.86 และ 0.18-0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยทั้ง 5 จุดในฤดูที่ 1 และ 2 มีค่า 0.18 , 0.18, 0.11, 0.11, 0.582 และ 0.16, 0.15, 0.15, 0.14, 0.31 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยค่าที่สูงของช่วงเกิดขึ้นหลังจากมีการใส่ปุ๋ยครั้งแรกเช่นกัน อย่างไรก็ตามจุด ค.1, ค.2 , ค.3 และ ค.4 มีค่าความเข้มข้นตลอดฤดูใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าฟอสฟอรัสที่ผสมอยู่ในปุ๋ยเมื่อสลายตัวมีการตกตะกอนในดินสูงทำให้การรั่วซึมไปกับน้ำน้อยมาก ดังนั้นจึงตรวจวัดได้น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณของฟอสเฟตที่เกิดจากการระบายน้ำลงสู่คูระบายน้ำซึ่งมีหน้าดินติดออกไปด้วยจากมาตรฐานของ Fair *et al.*(1971) พบว่าค่าความเข้มข้นในคูระบายน้ำที่ติดกับการทำนาแบบดั้งเดิมหรือแบบ TT มีค่าสูงขึ้นเกินมาตรฐานอย่างชัดเจนหลังมีการระบายน้ำและใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 หลังจากนั้นค่าอยู่ในเกณฑ์ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ รวมทั้งการจัดการน้ำแบบอื่นๆในการทดลองไม่ก่อให้เกิดมลภาวะจากค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตเช่นเดียวกัน

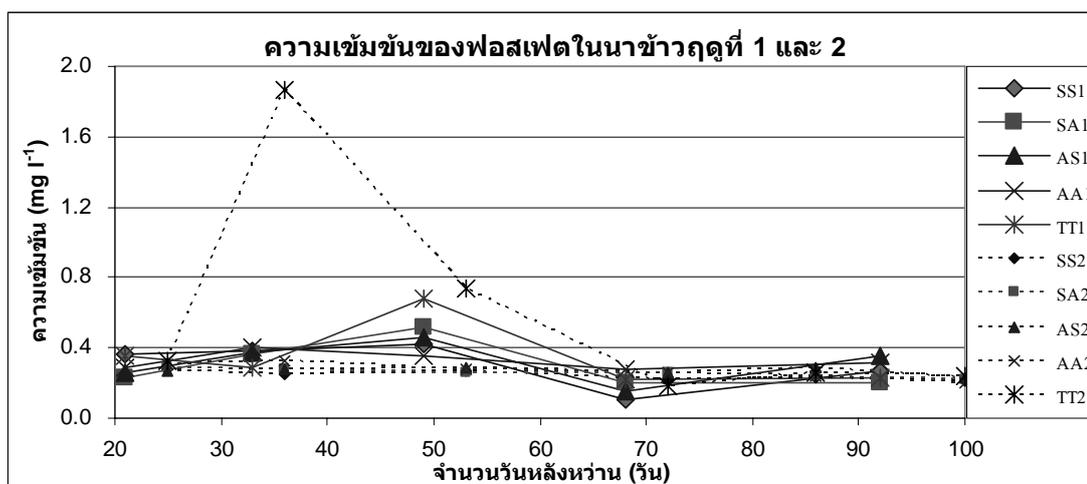


ภาพที่ 34 ความเข้มข้นฟอสเฟตในกระบายน้ำฤๅนที่ 1 และ 2

4.) นาข้าว

ข้อมูลความเข้มข้นฟอสเฟตที่วัดจากในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำกรณี SS, AS, SA, AA และ TT แสดงในภาพที่ 35 สำหรับฤๅนที่ 1 พบว่าในช่วงต้นของการเพาะปลูกจนถึงช่วงหลังการใส่ปุ๋ยครั้งแรกมีค่าปริมาณฟอสเฟตอยู่ในพิสัย 0.23 – 0.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่อมามีค่าลดลงจนถึงเกือบปลายฤๅนโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.11 – 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เพราะในช่วงหลังไม่มีการเติมฟอสฟอรัสลงไป ประกอบกับพืชนาสารละลายไปใช้ในการเจริญเติบโตทำให้ค่าของฟอสเฟตลดลง แต่อย่างไรก็ตามในช่วงปลายฤๅนพบว่าค่าฟอสเฟตเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดจากก่อนหน้านั้นมีฝนตกลงมาปริมาณมากทำให้ตะกอนฟอสเฟตที่อยู่ในดินผสมกับน้ำทำให้ตรวจวัดค่าได้มากขึ้น ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฟอสเฟตทั้ง 5 กรณีมีค่า 0.31, 0.30, 0.32, 0.33 และ 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับและตลอดฤๅนมีค่าในพิสัย 0.11-0.42, 0.2-0.52, 0.15-0.46, 0.28-0.40 และ 0.22-0.68 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

ส่วนในฤๅนที่ 2 การจัดการน้ำกรณี SS, AS, SA และ AA ให้ค่าแต่ละช่วงเวลาใกล้เคียงกัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับในฤๅนที่ 1 แต่ในการจัดการน้ำกรณี TT ให้ค่าสูงที่สุดและสูงกว่าฤๅนที่ 1 โดยค่าที่สูงสุดพบหลังจากมีการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 รวมทั้งมีฝนตกลงมารวมด้วยเช่นกัน ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฟอสเฟตทั้ง 5 กรณีมีค่า 0.24, 0.26, 0.27, 0.27 และ 0.60 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับและตลอดฤๅนมีค่าความเข้มข้นในพิสัย 0.21-0.28, 0.22-0.29, 0.23-0.29, 0.20-0.31 และ 0.18-1.87 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ



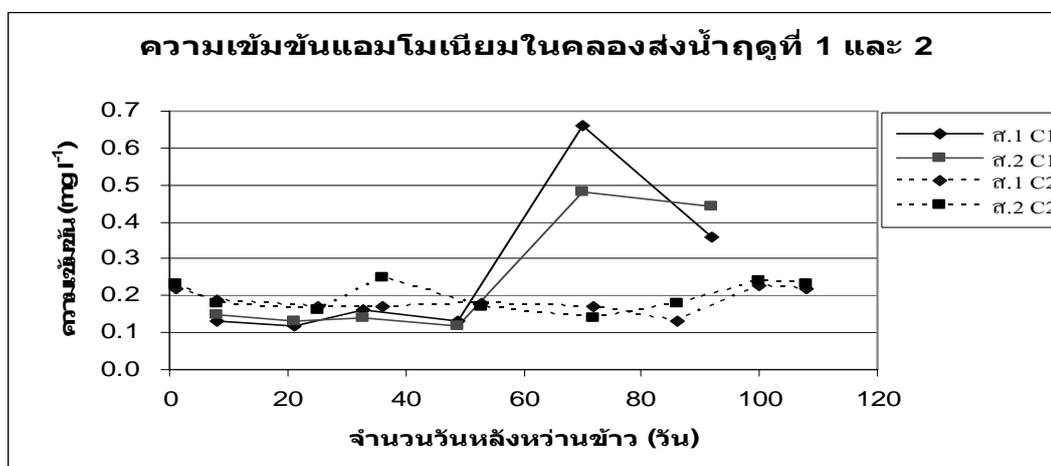
ภาพที่ 35 ความเข้มข้นฟอสเฟตในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2

อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในคลองระบายน้ำ จุด ค.1- ค.4 มีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับในนาข้าว ส่วนในจุด ค.5 มีค่ามากกว่าหรือใกล้เคียงกับในนาข้าว แสดงว่าเมื่อปุ๋ยสลายตัวเป็นฟอสเฟตซึ่งเป็นสารที่สามารถดูดซับกับอนุภาคดินได้ง่ายต่างๆ ที่มีประจุชนิดเดียวกันทำให้มีการสะสมฟอสเฟตในดินสูง การรั่วซึมของสารไปกับน้ำได้ดินน้อยมาก ดังนั้นเมื่อมีการระบายน้ำทางผิวดินจากนาข้าวไปสู่คลองระบายน้ำจะทำให้มีการชะล้างหน้าดินที่มีอนุภาคฟอสเฟตติดออกไปด้วยรวมทั้งฟอสเฟตที่ออกจากสารละลายแคลเซียมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต และอะลูมิเนียมฟอสเฟตในน้ำที่ระบายออกไปจะทำให้ค่าฟอสเฟตในคลองระบายน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของฟอสเฟตในคลองระบายน้ำจึงอยู่ขึ้นกับการสะสมฟอสเฟตในดินนา ปริมาณฟอสเฟตในน้ำ ปริมาณน้ำที่ระบายออก รวมทั้งระยะทางระหว่างนาข้าวและคลองระบายน้ำ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นฟอสเฟตกับแอมโมเนียพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก รวมทั้งค่าฟอสเฟตจากแหล่งน้ำที่มีการทำนาแบบดั้งเดิม (TT) มีแนวโน้มที่บางช่วงเวลาก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำ ส่วนการทำนาแบบประหยัดน้ำคือกรณี SS, AS, SA และ AA ส่งผลน้อยกว่า ทั้งนี้ Fair *et al.* (1971) ระบุว่าแม่น้ำที่จะเกิดมลภาวะจะมีค่าฟอสเฟตมากกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค. ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำ

1) คลองส่งน้ำ

ความเข้มข้นแอมโมเนียที่วัดในคลอง ส.1 และ ส.2 แสดงในภาพที่ 36 สำหรับฤดูที่ 1 พบว่าในช่วงต้นของการเพาะปลูกและช่วงที่มีการจัดการน้ำในช่วงที่สองมีค่าปริมาณแอมโมเนียมน้อยมากใกล้เคียงกันคืออยู่ในพิสัย 0.12 – 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่อยๆ สูงขึ้นสูงสุดในช่วงที่เกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 ต่อมาค่าลดลงจนถึงช่วงเก็บเกี่ยวโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.36 – 0.66 มิลลิกรัมต่อลิตรทั้งในคลอง ส.1 และ ส.2 โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและตลอดฤดูทั้งสองคลองมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.26, 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 0.12-0.66, 0.12-0.48 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ อนึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2551) กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมสำหรับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นค่าความเข้มข้นแอมโมเนียมจากคลองส่งน้ำทั้งสองมีแนวโน้มที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ มีบางช่วงเวลาสั้นๆ ปลายฤดูที่ 1 เท่านั้นที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำเล็กน้อย

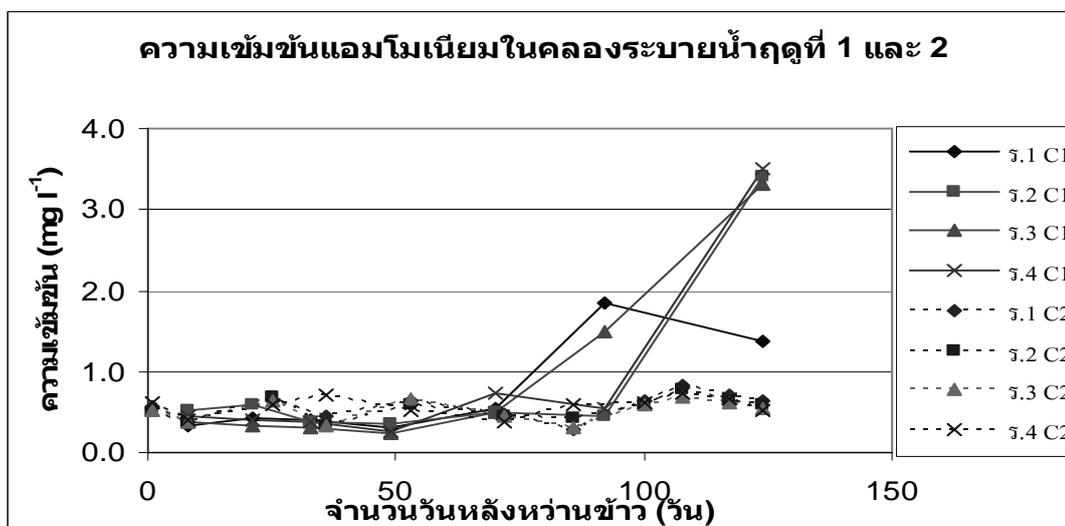


ภาพที่ 36 ความเข้มข้นแอมโมเนียมในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2

2) คลองระบายน้ำ

ความเข้มข้นแอมโมเนียที่วัดจากจุดต่างๆ ในคลองระบายน้ำคือจุดร.1,ร.2, ร.3 และ ร.4 แสดงในภาพที่ 37 โดยในฤดูที่ 1 ช่วงต้นของการเพาะปลูกและช่วงที่สองของการจัดการน้ำ มีค่าความเข้มข้นแอมโมเนียในเวลาเดียวกันใกล้เคียงกันในแต่ละจุดคืออยู่ในพิสัย 0.24 – 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมากกว่าในคลองส่งน้ำเล็กน้อย ต่อมาในช่วงวันที่ 8 มิถุนายนถึงปลายฤดูพบว่า ในคลองระบายน้ำจุด 1 มีค่าสูงขึ้นเป็น 1.38-1.85 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่อีก 3 จุดในคลองระบายน้ำ มีค่าสูงขึ้นมากเป็น 0.45 – 35.1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ในช่วงต้นของเวลาในจุด ร.2 และ ร.4 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จุด ร.3 มีค่าที่สูงกว่ามากแสดงว่าพื้นที่นาในบริเวณคลองระบายน้ำนั้นเริ่มมีการระบายน้ำ ลงมามากกว่า หลังจากนั้นค่าที่จุดต่างๆ ใกล้เคียงกันมากแสดงว่าการระบายน้ำมีการกระจายตัว ทั่วทั้งพื้นที่ จากผลแสดงว่ามีการระบายน้ำก่อนเก็บเกี่ยวอย่างต่อเนื่องจากนาข้าวเกษตรกรในพื้นที่ ทำให้ค่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นอย่างมากและอาจเป็นเพราะช่วงเวลาวัดเป็นช่วงที่มีการสลายตัวของ แอมโมเนียมน้อยคือเพิ่งมีการระบายน้ำลงไป ในคลองระบายน้ำนั่นเอง ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแอมโมเนียม ทั้ง 4 จุดมีค่า 0.74, 5.21, 5.19 และ 5.41 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับและตลอดฤดูมีค่าความเข้มข้น ในพิสัย 0.31-1.85 , 0.36-33.7, 0.24-33.1 และ 0.25-35.1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า ช่วงมีการทำนาทำให้ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียมสูงกว่าในน้ำชลประทานมาก สำหรับฤดูที่ 2 ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียมทั้ง 4 จุดมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกันในแต่ละช่วงเวลา โดยค่า ในช่วงต้นฤดูมีค่าใกล้เคียงกับฤดูที่ 1 ขณะที่ปลายฤดูจะมีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากฝนที่ตกลงมา ตลอดจนมีการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมในกระบวนการต่างๆ เร็วมากการตรวจวัดค่าจึงวัด ได้ได้น้อย

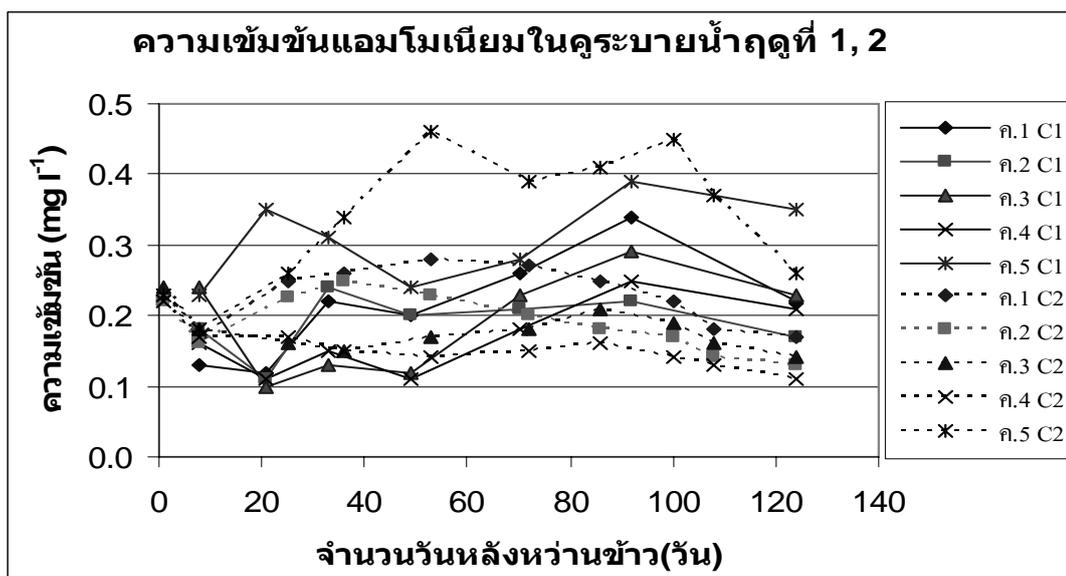
เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ กรมควบคุมมลพิษ (2551) สำหรับค่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่3 พบว่ามีแนวโน้มมากกว่า 0.5 มิลลิกรัม ต่อลิตร ดังนั้นจึงก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำเล็กน้อย แต่สำหรับในปลายฤดูมีค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน มากดังนั้นจึงก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำ



ภาพที่ 37 ความเข้มข้นแอมโมเนียมในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

3) คุระบายน้ำ

ความเข้มข้นแอมโมเนียที่วัดจากจุดต่างๆ ในคุระบายน้ำที่รับน้ำจากนาข้าวคือ ที่จุด ค.1 , ค.2 , ค.3, ค.4 และ ค.5 แสดงในภาพที่ 38 โดยทั้งฤดูที่ 1 และ 2 พบว่ามีค่าน้อยมากใกล้เคียงกัน คืออยู่ในพิสัย 0.12 - 0.34, 0.11 - 0.24, 0.10 - 0.29 , 0.11-0.25, 0.23 – 0.39 และ 0.18 - 0.28, 0.13 - 0.25, 0.16 - 0.24 , 0.11-0.22, 0.18 – 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่ถ้าพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ในทั้งสองฤดูมีค่า 0.21, 0.19, 0.19, 0.17, 0.31 และ 0.23, 0.19, 0.18, 0.15, 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่จุด ค.4 มีแอมโมเนียต่ำที่สุดและ ค.5 มีมากที่สุด ทั้งนี้มีผลมาจากการระบายน้ำ จากนาข้าวและปริมาณน้ำที่ท่วมขังในนาข้าวนั่นเอง สำหรับค่า simulation ของความเข้มข้นแอมโมเนียม คูรายละเอียดได้ในหัวข้อ 3.2 อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมในคุระบายน้ำ ทั้งหมดในสองฤดูไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ซึ่งอาจเป็นเพราะมีการสลายตัวของแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็ว



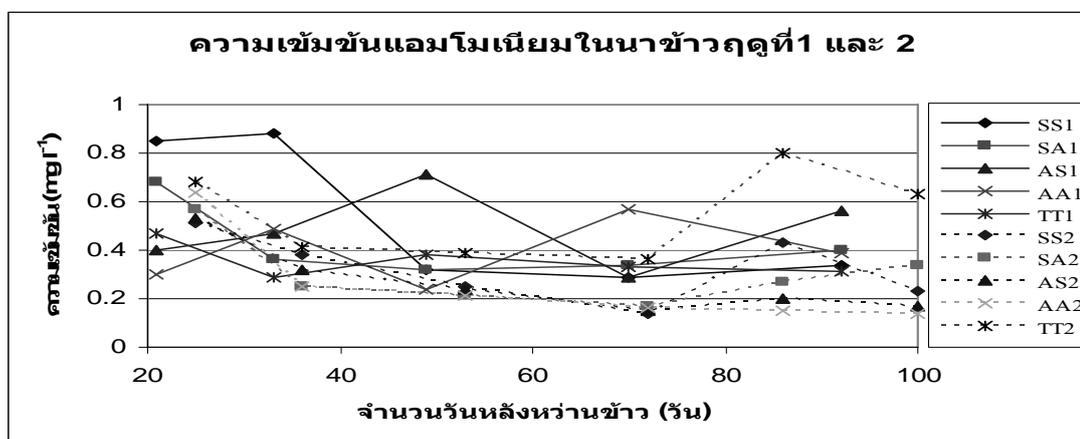
ภาพที่ 38 ความเข้มข้นแอมโมเนียในกระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

4) นาข้าว

ข้อมูลความเข้มข้นแอมโมเนียที่วัดจากในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำกรณี SS, AS, SA, AA และ TT แสดงในภาพที่ 39 สำหรับฤดูที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 0.29 - 0.88, 0.32 - 0.68, 0.29 - 0.71, 0.24 - 0.57 และ 0.29-0.59 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าเฉลี่ยตลอดฤดูจากการเก็บข้อมูลมีค่า 0.46, 0.50, 0.49, 0.40 และ 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนฤดูที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 0.14 - 0.51, 0.17 - 0.57, 0.15 - 0.53, 0.14 - 0.64 และ 0.39-0.68 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าเฉลี่ยตลอดฤดูจากการเก็บข้อมูลมีค่า 0.32, 0.30, 0.27, 0.26 และ 0.55 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สำหรับค่า simulation ของความเข้มข้นแอมโมเนียในนาข้าว ดูรายละเอียดได้ในหัวข้อ 3.2

จากผลต่างๆ พบว่า ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในทุกข้อมูลมีค่าที่น้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของไนเตรทที่การเก็บข้อมูลที่จุดเดียวกันค่าไนเตรทจะมีค่ามากกว่ามาก ทั้งนี้เพราะการสลายตัวของปุ๋ยส่วนใหญ่ให้แอมโมเนียแต่มีการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทและก๊าซอื่นๆ อย่างรวดเร็ว รวมทั้งพืชสามารถนำแอมโมเนียไปใช้ได้มากกว่า จึงตรวจวัดค่าได้น้อย แต่อย่างไรก็ตามช่วงเวลากการวัดก็น่าจะส่งผลเช่นกัน เช่นกรณีที่วัดเมื่อมี

การสลายตัวของปุ๋ยในระยะแรก พืชยังไม่นำไปใช้และปฏิกิริยาที่มีการสลายตัวของแอมโมเนียม ยังมีน้อย ควรจะตรวจวัดค่าได้ดีกว่า



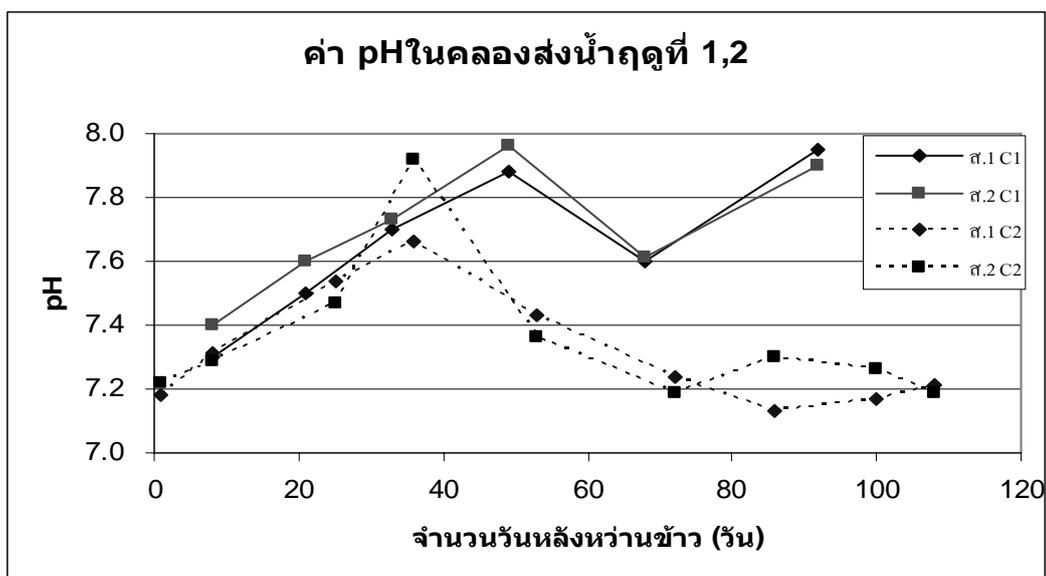
ภาพที่ 39 ความเข้มข้นแอมโมเนียมในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2

ง. ค่า pH ในน้ำ

1) คลองส่งน้ำ

ค่า pH ที่วัดจากคลองส่งน้ำคือ คลอง ส.1 และ ส. 2 แสดงในภาพที่ 40 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันสำหรับฤดูที่ 1 มีค่า pH ทั้งสองคลองอยู่ในพิสัย 7.3 - 7.96 และมีค่าเฉลี่ย 7.7 ค่าในแต่ละช่วงเวลาของทั้งสองคลองใกล้เคียงกันโดยพบว่ามีค่า pH ในช่วงต่างๆ สูงกว่าในช่วงต้นฤดู นั่นคือมีความเป็นเบสมากขึ้น ส่วนฤดูที่ 2 ค่า pH ทั้งสองคลองไม่แตกต่างกันนักโดยค่าอยู่ในพิสัย 7.13 - 7.66 และ 7.19-7.54 ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยคือ 7.31 และ 7.36 ตามลำดับ ค่าในแต่ละช่วงเวลาของทั้งสองคลองใกล้เคียงกัน โดยพบว่ามีค่า pH ในช่วงต้นฤดูค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงช่วงที่มีการใส่ปุ๋ยในนาครั้งที่ 1 หลังจากนั้นค่าลดลงจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ค่าในช่วงปลายฤดูจะน้อยกว่าฤดูที่ 1 ทั้งนี้เพราะมีฝนตกลงมาผสมทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงจากค่าปกติซึ่งขึ้นกับค่า pH ในน้ำฝนแต่ละช่วงเวลา ค่า pH ในทั้งสองฤดูมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแต่อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำในทั้งสองฤดูมีค่าเป็นเบส

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ กรมควบคุมมลพิษ (2551) สำหรับค่า pH ในคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่ให้อยู่ในพิสัย 6-9 พบว่า pH ในน้ำทุกค่าไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำ

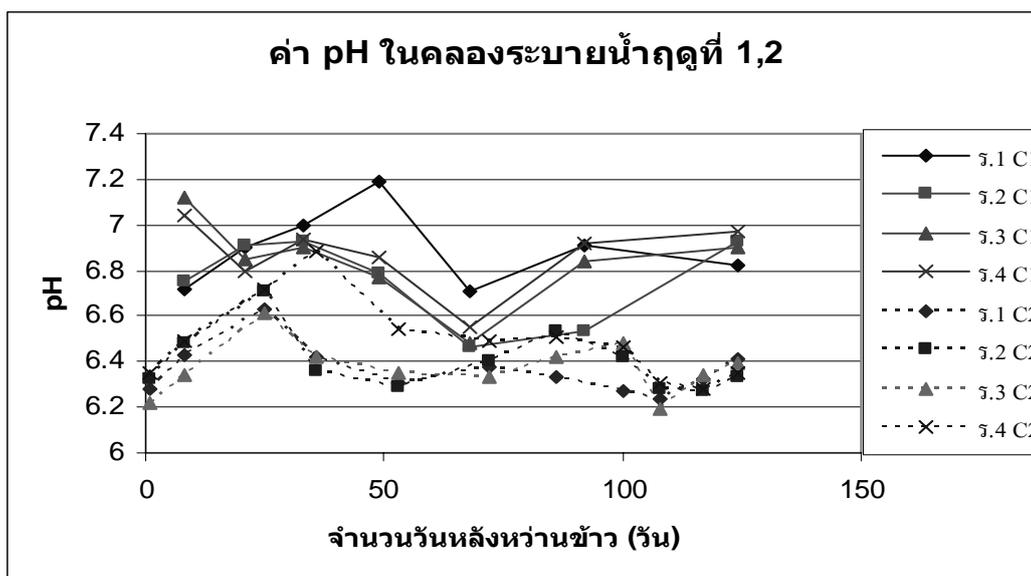


ภาพที่ 40 ค่า pH ในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2

2) คลองระบายน้ำ

ค่า pH ที่วัดจากจุดต่างๆ ในคลองระบายน้ำใหญ่คือ จุด ร. 1 , ร.2 , ร.3 และ ร.4 แสดงในภาพที่ 41 สำหรับฤดูที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในพิสัย 6.71 - 7.19, 6.46 - 6.93, 6.48 - 7.12 และ 6.55 - 7.04 ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยคือ 6.9, 6.8, 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ โดยค่าที่จุดต่างๆ ที่ช่วงเวลาเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนฤดูที่ 2 มีค่า pH น้อยกว่าในฤดูที่ 1 เล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 6.28 - 6.63, 6.32 - 6.71, 6.19 - 6.61 และ 6.35 - 6.88 ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยคือ 6.4, 6.4, 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ โดยค่าที่จุดต่างๆ ที่ช่วงเวลาเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่จุด ร.4 ในช่วงที่มีการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ค่าจะสูงกว่าจุดอื่นๆ เล็กน้อยคือเป็นกรดน้อยกว่า ทั้งนี้ อาจเพราะมีพื้นที่นาข้าว ระบายน้ำลงคลองระบายน้ำมากกว่านั่นเองรวมทั้งชนิดของปุ๋ยที่ใช้ก็อาจส่งผลต่อค่า pH เช่นกัน อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำในคลองระบายน้ำทั้งสองฤดูค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย

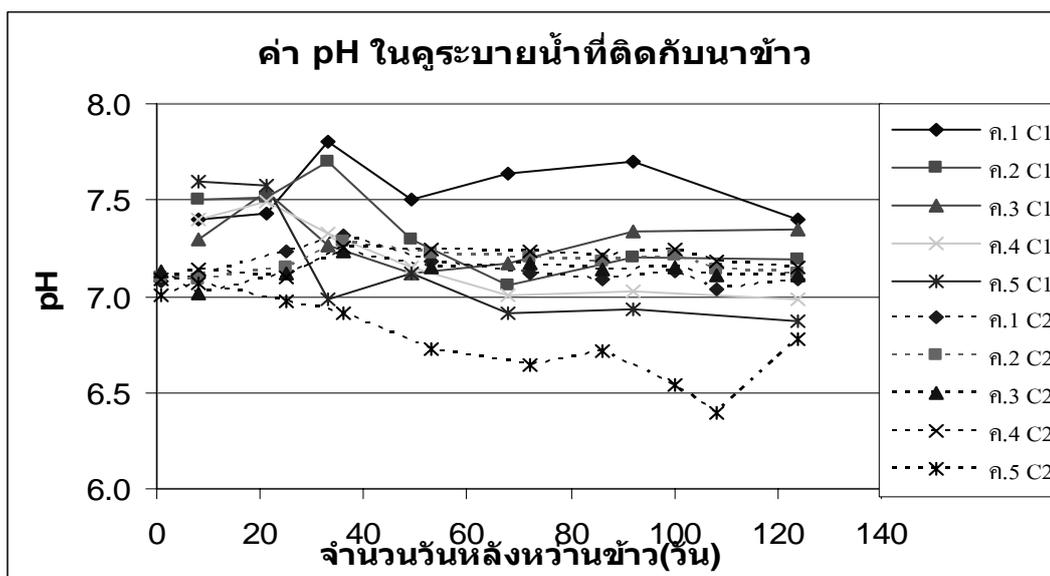
จากผลพบว่าค่า pH ในน้ำทุกค่าอยู่ในพิสัย 6-9 ตามมาตรฐานของ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำ



ภาพที่ 41 ค่า pH ในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

3) คูระบายน้ำ

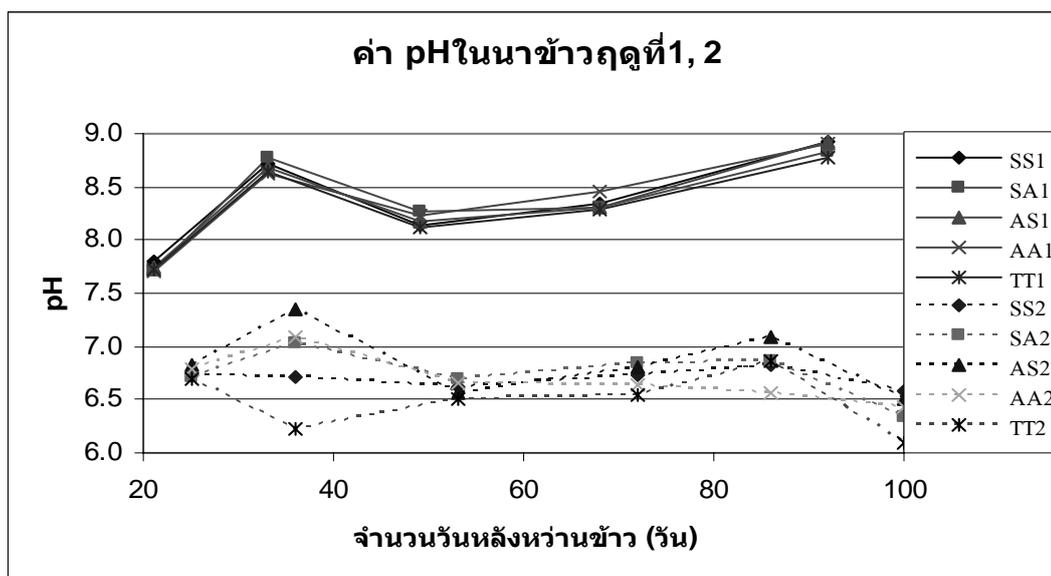
สำหรับค่า pH ที่วัดจากจุดต่างๆ ในคูระบายน้ำที่รับน้ำจากนาข้าวคือที่จุด ค.1, ค.2, ค.3, ค.4 และ ค.5 แสดงในภาพที่ 42 สำหรับฤดูที่ 1 มีค่า pH ในพิสัย 7.4 - 7.8, 7.1 - 7.7, 7.1 - 7.5, 7.0 - 7.5 และ 6.9-7.6 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 7.6, 7.4, 7.3, 7.2 และ 7.1 ตามลำดับ ส่วนฤดูที่ 2 มีค่า pH ในพิสัย 7.04 - 7.32, 7.09 - 7.28, 7.02 - 7.23, 7.09 - 7.6 และ 6.39-7.07 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 7.1, 7.2, 7.1, 7.2 และ 6.8 ตามลำดับ แนวโน้มของค่า pH ในคูระบายน้ำที่รับน้ำจากนาเกษตรกรโดยตรงทั้งสองฤดูมีค่าน้อยกว่าการจัดการน้ำกรณีอื่นๆ นั่นคือมีความเป็นกรดเล็กน้อย ส่วนกรณีอื่นๆ มีค่าเป็นเบสเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ กรมควบคุมมลพิษ (2551) สำหรับค่า pH ในคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่ให้อยู่ในพิสัย 6-9 พบว่า pH ในน้ำทุกค่าไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำ



ภาพที่ 42 ค่า pH ในระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

4) นาข้าว

ค่า pH ที่วัดในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำกรณี SS, SA, AS, AA และ TT แสดงในภาพที่ 43 ในฤดูที่ 1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วงเวลาคือมีค่าอยู่ในพิสัย 7.8 - 8.9, 7.7 - 8.8, 7.7 - 8.9, 7.7 - 8.9 และ 7.7 - 8.8 ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูของทุกกรณีอยู่ในพิสัย 8.3-8.4 ส่วนฤดูที่ 2 มีค่า pH ในช่วงกลางถึงปลายฤดูไม่แตกต่างกันนักในแต่ละกรณีการจัดการน้ำโดยมีค่าตลอดฤดูในพิสัย 6.6 - 6.8, 6.3 - 7.0, 6.5 - 7.4, 6.4-7.1 และ 6.1-6.9 ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยคือ 6.7, 6.8, 6.9, 6.9 และ 6.5 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าต่างๆในช่วงต้นและปลายฤดูไม่ได้แตกต่างกันมากนักแต่แนวโน้มของค่า pH ในนาข้าวฤดูที่ 1 มีค่าเป็นเบสมากกว่าในฤดูที่ 2 อย่างชัดเจน



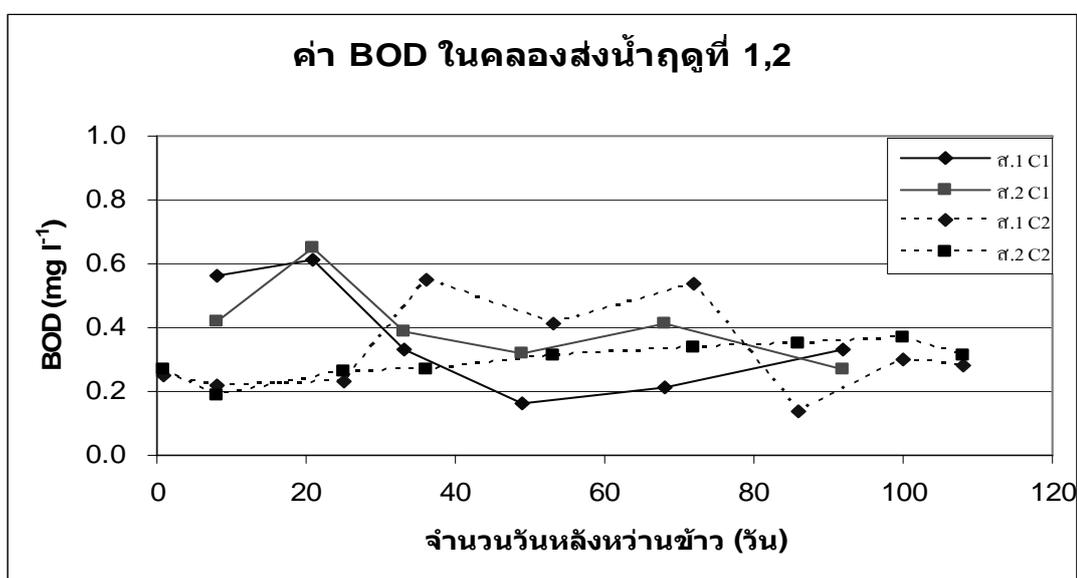
ภาพที่ 43 ค่า pH ในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2

อนึ่งค่า pH ในการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงเวลาเดียวกันมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยคุณภาพน้ำในคลองส่งน้ำเป็นเบสเล็กน้อย ส่วนในคลองระบายน้ำค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย สำหรับน้ำในคูระบายน้ำในแปลงทดลองมีค่าเป็นเบสเล็กน้อยใกล้เคียงกับคลองส่งน้ำ แต่น้ำในนาข้าวจะเป็นเบสมากกว่าในคลองส่งน้ำ และน้ำในคูระบายน้ำในแปลงทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกันกับค่า pH ของน้ำในคูระบายน้ำช่วงแรก ส่วนในแปลงเกษตรกรมีค่าเป็นกรดเพิ่มขึ้นจากช่วงแรกเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยตลอดฤดูกาลของค่า pH ในคูระบายน้ำในแปลงทดลองใกล้เคียงกับคลองส่งน้ำแสดงว่าคุณภาพน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ขณะที่ในคลองระบายน้ำให้ค่าต่ำกว่าแสดงว่าหลังจากนำน้ำไปใช้ในการเกษตรแบบดั้งเดิมแล้วคุณภาพน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดเพิ่มขึ้น แต่ค่าความผันแปรภายในคลองแตกต่างกันน้อยทั้งนี้เพราะเป็นช่วงการใช้ประโยชน์จากที่ดินแตกต่างกัน ได้แก่ การเตรียมแปลง การใส่ปุ๋ยในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต การระบายน้ำเป็นช่วงๆ ของเกษตรกรเป็นต้น สำหรับในนาข้าวให้ค่าเฉลี่ย pH ที่สูงกว่าในคลองส่งน้ำทั้งนี้เพราะในนาข้าวได้รับสารเคมีต่างๆ โดยตรงมีการแตกตัวของสารให้ความเข้มข้นของไฮดรอกซีไอออน (OH^-) ที่มากขึ้นนั่นเอง เมื่อพิจารณาโดยรวมค่า pH ในน้ำบริเวณต่างๆ ให้ค่าอยู่ในพิสัยที่ยังคงสามารถนำไปผลิตเป็นน้ำดื่มได้ตามมาตรฐานสำหรับประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษ (2551) ได้กำหนดให้มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 2 สำหรับผลิตน้ำดื่มได้มีค่า pH ที่อยู่ในเกณฑ์ 6-9

จ. ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) ในน้ำ

1) คลองส่งน้ำ

ค่า BOD ที่วัดจากคลองส่งน้ำคือ คลอง ศ.1 และ ศ. 2 แสดงดังภาพที่ 44 ในฤดูที่ 1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.16 – 0.61 และ 0.27 - 0.65 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับมีค่าเฉลี่ยคือ 0.36 และ 0.41 ตามลำดับ ส่วนฤดูที่ 2 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับฤดูที่ 1 คือมีค่าอยู่ในพิสัย 0.14 – 0.55 และ 0.19 - 0.57 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับมีค่าเฉลี่ยคือ 0.32 และ 0.30 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า BOD หรือค่าความต้องการออกซิเจนในน้ำของคลองทั้งสองมีค่าน้อยแสดงว่าในน้ำมีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียหรือน้ำมีความสกปรกน้อยนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ กรมควบคุมมลพิษ (2551) สำหรับค่า BOD ในคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่ให้มีย่านน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า BOD ในคลองส่งน้ำมีค่าอยู่ในช่วงกำหนดจึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำ

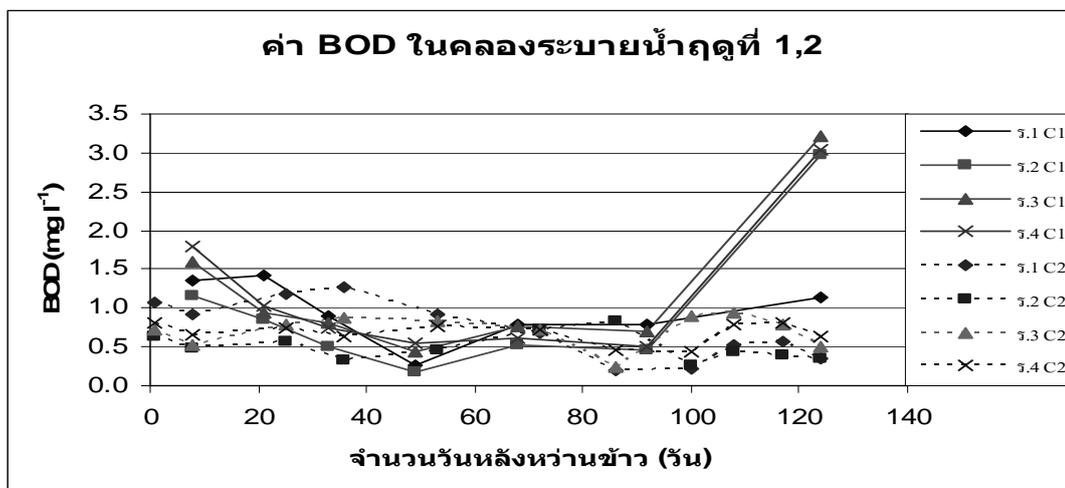


ภาพที่ 44 ค่า BOD ในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2

2) คลองระบายน้ำ

ค่า BOD ที่วัดจากจุดต่างๆ ในคลองระบายน้ำคือจุด ร. 1, ร.2 , ร.3 และ ร.4 แสดงในภาพที่ 45 ในฤดูที่ 1 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.26 – 1.42 , 0.18 – 2.97, 0.80 – 3.22 และ 0.50 – 3.03 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับซึ่งค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 0.95, 0.95, 1.21 และ 1.18 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าในแต่ละจุดที่เวลาเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกันนักแต่อย่างไรก็ตามจากกราฟแสดงให้เห็นว่าในช่วงปลายคลองค่อนข้างจะต้องการออกซิเจนมากกว่าต้นคลองระบายน้ำ สำหรับผลกระทบจากฝนที่ตกลงมาก็ให้ค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะเป็นระบบที่อยู่ใกล้กันปริมาณฝนไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามค่าความต้องการออกซิเจนในน้ำสูงขึ้นในช่วงหลังจากที่เกษตรกรมีการระบายน้ำและใส่ปุ๋ยใหม่ๆ และสูงที่สุดในช่วงปลายฤดูที่มีการระบายน้ำออกจากแปลงทั้งหมด แสดงว่าการใช้ที่ดินของเกษตรกรมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในคลองระบายน้ำอย่างชัดเจน โดยทั้งการรั่วซึมของน้ำและการระบายน้ำจากน่าน้ำสารแพร่กระจายลงสู่คลองระบายน้ำมากขึ้นทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำเพิ่มขึ้น ออกซิเจนถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ต่างๆ มากขึ้นทำให้เหลือออกซิเจนในน้ำน้อยลงค่า BOD จึงสูงขึ้น สำหรับฤดูที่ 2 มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดฤดูโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.20 – 1.27 , 0.27 – 0.84, 0.25 – 0.93 และ 0.45 – 0.82 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับซึ่งค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 0.72, 0.50, 0.71 และ 0.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้นอกจากการมีฝนตกช่วยให้น้ำมีออกซิเจนมากขึ้นแล้วการทำกิจกรรมทางด้านเกษตรกรรมเป็นไปอย่างต่อเนื่องทุกพื้นที่

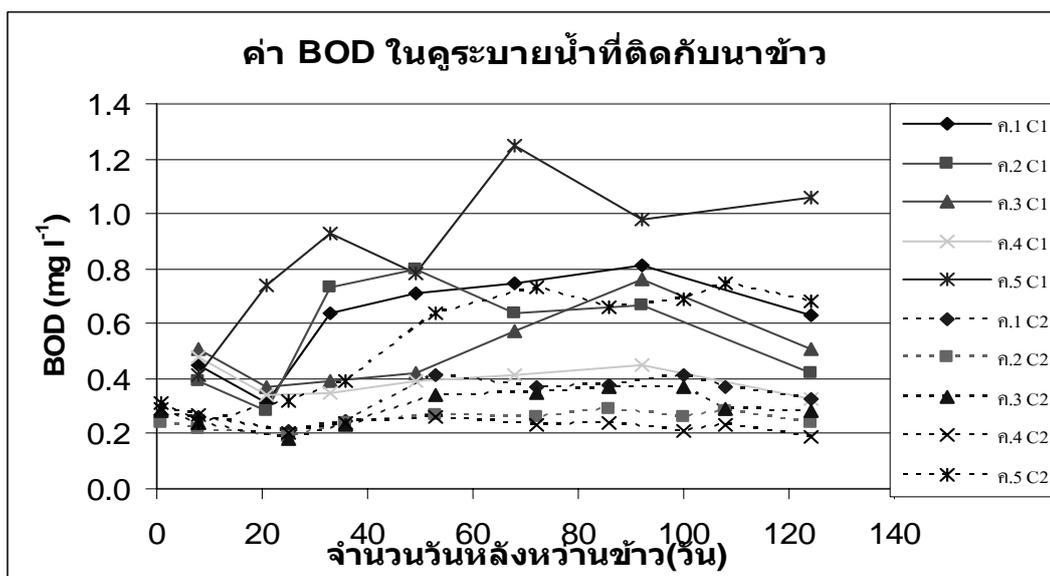
เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ กรมควบคุมมลพิษ (2551) พบว่าค่า BOD จาก กราฟในคลองระบายน้ำปลายฤดูที่ 1 มีค่าการเพิ่มขึ้นของ BOD อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงเวลาที่เกษตรกรมีกิจกรรมการระบายน้ำออกจากร่องน้ำก่อนการเก็บเกี่ยวทำให้มีการนำสารต่างๆ ลงไปในคลองมากขึ้น ดังนั้นน้ำในคลองระบายน้ำจึงสกปรกขึ้นโดยค่า BOD ที่วัดได้ในช่วงนี้สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานที่ให้มือน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรจึงก่อให้เกิดมลภาวะในน้ำ สำหรับช่วงอื่นๆ ในฤดูที่ 1 และในฤดูที่ 2 พบว่าค่า BOD อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำ



ภาพที่ 45 ค่า BOD ในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

3) คุระบายน้ำ

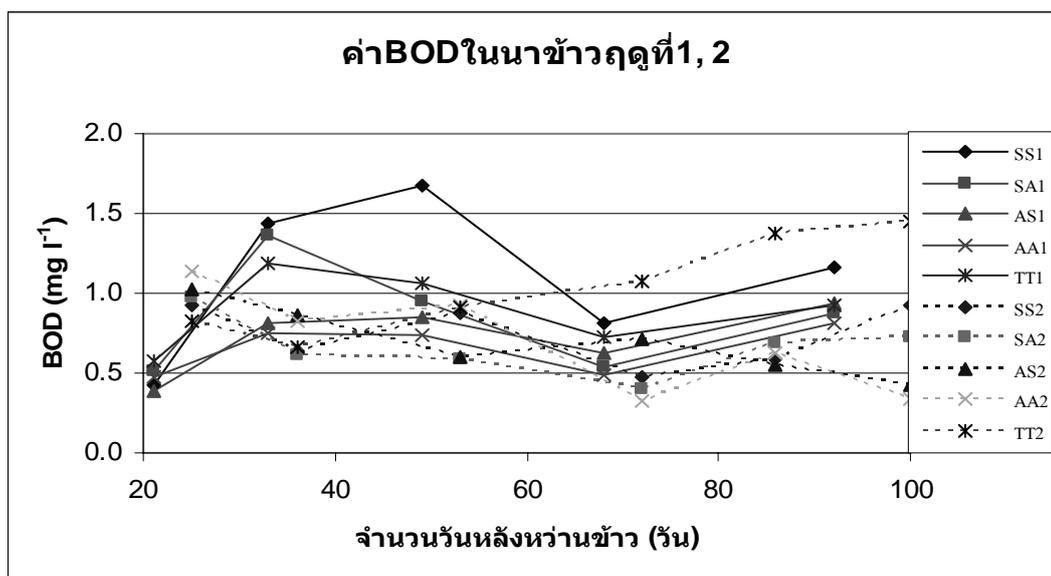
ค่า BOD ที่วัดจากจุดต่างๆ ในคุระบายน้ำที่รับน้ำจากนาข้าวคือที่จุด ค.1, ค.2, ค.3, ค.4 และ ค.5 แสดงดังภาพที่ 46 โดยฤดูที่ 1 ค่า BOD ตลอดฤดูทุกเวลาที่จุดต่างๆ มีค่าในพิสัย 0.31 – 0.81, 0.28 – 0.80, 0.37 – 0.76, 0.33 – 0.48 และ 0.41-1.25 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับโดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.61, 0.56, 0.50, 0.39 และ 0.87 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ 40 ส่วนฤดูที่ 2 ค่าที่จุดต่างๆ ที่มีค่าน้อยกว่าในฤดูที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากมีฝนตกลงมาซึ่งค่า BOD มีค่าอยู่ในพิสัย 0.21 – 0.41, 0.19 – 0.29, 0.18 – 0.37, 0.19 – 0.29 และ 0.31-0.73 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับรวมทั้งมีค่าเฉลี่ยคือ 0.33, 0.25, 0.29, 0.24 และ 0.54 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ผลจากทั้งสองฤดูซึ่งจะเห็นว่าคุระบายน้ำที่ติดกับนาที่มีการจัดการน้ำแบบ เปียกสลับแห้งหรือ AWD ตลอดฤดูคือที่จุด ค.4 จะให้ค่าส่งผลกระทบต่อค่า BOD น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกับการจัดการน้ำแบบดั้งเดิม ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ (2551) พบว่าค่า BOD ในคุระบายน้ำที่ติดกับนาข้าวที่มีการจัดการน้ำต่างๆ มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นไม่ก่อให้เกิดมลภาวะในน้ำ



ภาพที่ 46 ค่า BOD ในกระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

4) นาข้าว

ค่า BOD ที่วัดจากในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำแบบ SS, AS, SA ,AA และ TT แสดงในภาพที่ 47 โดยในฤดูที่ 1 ค่าที่ได้ตลอดฤดูอยู่ในพิสัยที่ใกล้เคียงกันคือ 0.43 – 1.16, 0.51 – 1.36, 0.39 – 0.94, 0.48- 0.81 และ 0.57 – 1.19 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับและมีค่าเฉลี่ยที่ 1.10, 0.85, 0.72, 0.65 และ 0.89 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากผลพบว่าหลังมีการใส่ปุ๋ยในนาข้าวแล้วค่า BOD จะมีค่าสูงกว่าในแหล่งน้ำอื่นๆ ทั้งนี้เพราะการใส่ปุ๋ยทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มมากขึ้น แบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนและทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยการใช้ออกซิเจนมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่า BOD ในแหล่งน้ำต่างๆ ยังคงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแหล่งน้ำประเภท 3 คือมีค่ามีค่าไม่มากกว่า 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งยังเหมาะแก่การทำกรเกษตรยกเว้นในช่วงปลายฤดูซึ่งในคลองระบายน้ำที่มีค่ามากกว่ามาตรฐานแสดงว่าการชะล้างของสารอินทรีย์จากพื้นที่เกษตรกรรมลงสู่คลองสูงมีแนวโน้มทำให้เกิดมลภาวะแก่แหล่งน้ำมาก ส่วนฤดูที่ 2 ค่าที่ได้ตลอดฤดูอยู่ในพิสัยที่ใกล้เคียงกันคือ 0.59 – 0.93, 0.40 – 0.67, 0.43 – 1.03, 0.32- 1.14 และ 0.66 – 1.45 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับและมีค่าเฉลี่ยที่ 0.74, 0.67, 0.70, 0.70 และ 1.05 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

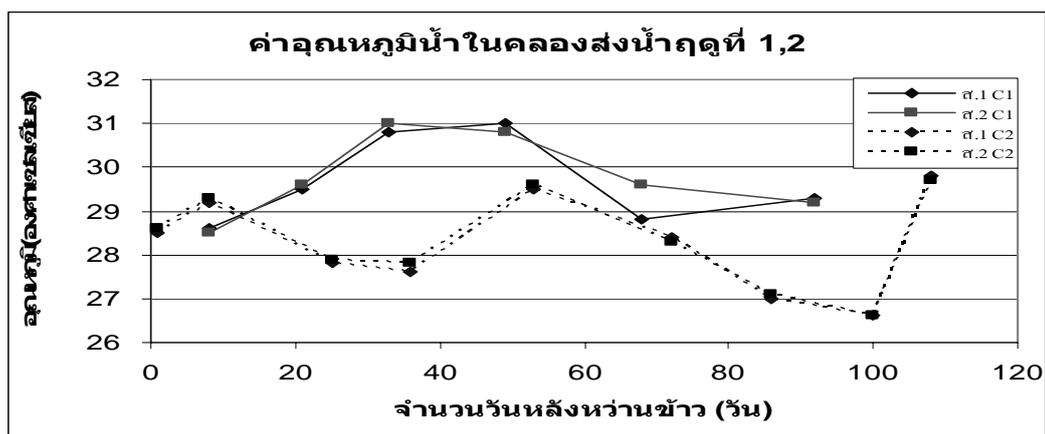


ภาพที่ 47 ค่า BOD ในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2

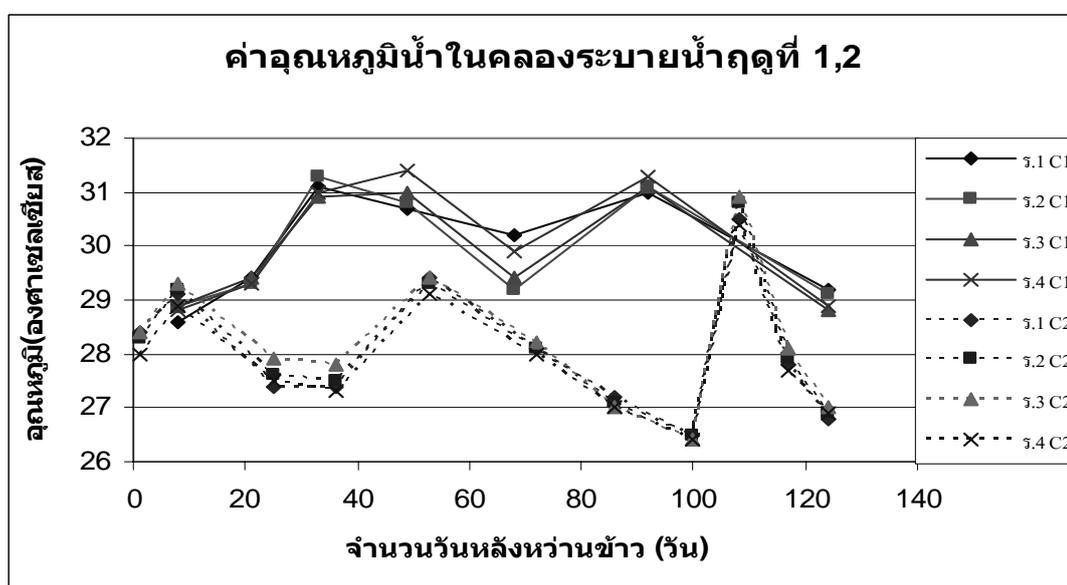
จ. อุณหภูมิในน้ำ

ค่าอุณหภูมิที่วัดจากสถานที่ต่างๆ ในช่วงเวลาเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงในภาพที่ 48-51 โดยในฤดูที่ 1 ค่าอุณหภูมิในคลองส่งน้ำ (ส.1 และ ส. 2) อุณหภูมิในคลองระบายน้ำ (จุด ร.1, ร.2, ร.3 และ ร.4) อุณหภูมิที่วัดในคูระบายน้ำ (จุด ค.1, ค.2, ค.3, ค.4 และ ค.5) และอุณหภูมิที่วัดจากในนาข้าว (SS, SA, AS, AA และ TT) มีค่าตลอดฤดูอยู่ในพิสัย 28.5 – 31.0, 28.6 - 31.4, 30.1 – 33.5 และ 32.0-34.0 องศาเซลเซียสตามลำดับรวมทั้งค่าเฉลี่ยแต่ละสถานที่ที่มีค่าอยู่ในพิสัย 29.7 – 29.8, 29.9 – 30.1, 31.5 – 31.8 และ 32.7 – 33.2 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากผลพบว่าที่แหล่งน้ำเดียวกันช่วงเวลาเดียวกันค่าจะแตกต่างกันน้อยมาก ขณะที่แหล่งน้ำต่างกันเช่นมีปริมาณน้ำต่างกัน มีสารละลายต่างกัน การส่งผ่านของแสงไม่เท่ากัน จะทำให้ค่าอุณหภูมิต่างกัน เช่น ในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำที่มีระดับน้ำท่วมขังน้อยและในคูระบายน้ำมีแนวโน้มที่อุณหภูมิสูงกว่าในคลองระบายน้ำและคลองส่งน้ำเล็กน้อย อย่างไรก็ตามสภาพภูมิอากาศเช่นฝน ลม รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ การระเหยของน้ำที่บริเวณใดๆ ย่อมมีผลต่ออุณหภูมิในน้ำโดยตรงเช่นกัน ซึ่งจากผลพบว่าในแหล่งน้ำต่างๆ ค่าอุณหภูมิน้ำในเดือนเมษายนมีแนวโน้มที่สูงกว่าเดือนอื่นๆ สำหรับในฤดูที่ 2 ค่าอุณหภูมิในคลองส่งน้ำ อุณหภูมิในคลองระบายน้ำ อุณหภูมิในคูระบายน้ำและอุณหภูมิในนาข้าวมีค่าอยู่ในพิสัย 26.6 – 29.7, 26.4 – 30.9, 26.4 – 30.6 และ 26.6 – 29.8 องศาเซลเซียสตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยแต่ละสถานที่ที่มีค่าอยู่ในพิสัย 28.2 – 28.3, 27.9 – 28.2, 28.0 – 28.2 และ

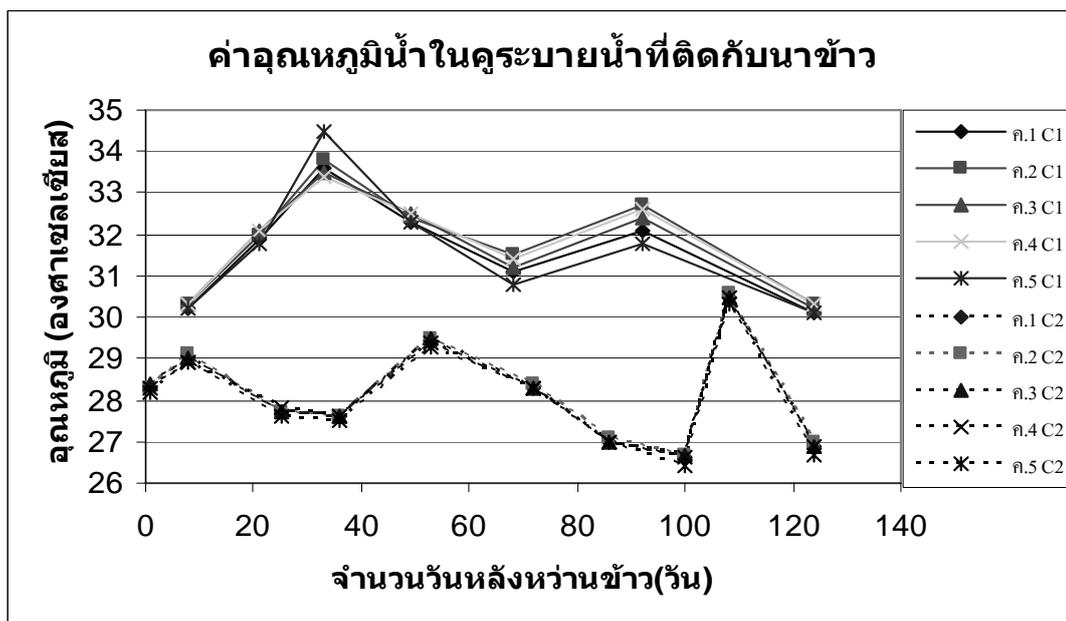
27.9-28.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลพบว่าที่แหล่งน้ำต่างๆ ช่วงเวลาเดียวกันค่าจะแตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออุณหภูมิในน้ำ แต่ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิของน้ำที่วัดได้จากแหล่งต่างๆ ทั้งสองฤดูมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส



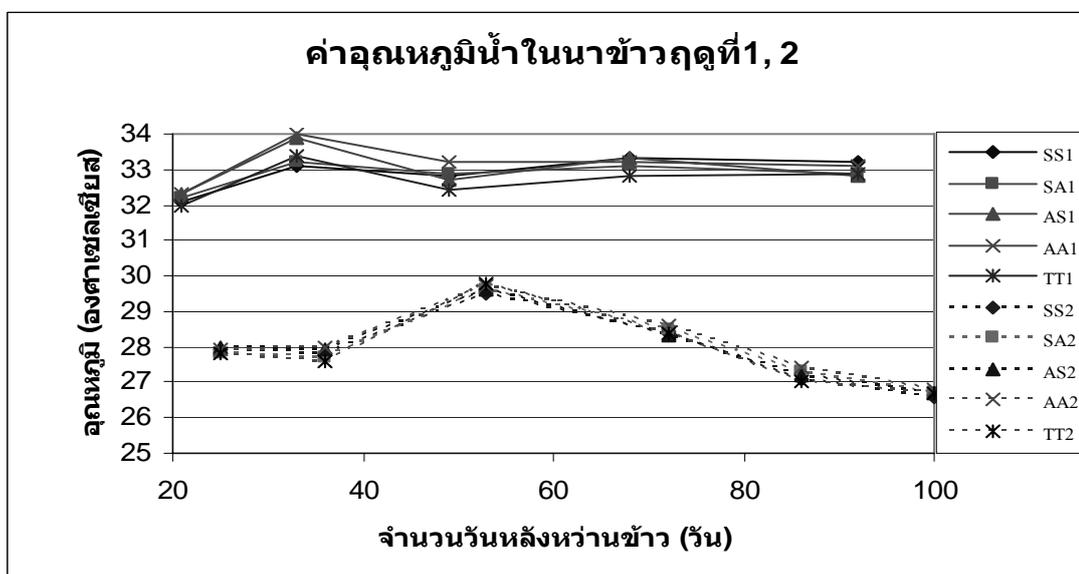
ภาพที่ 48 ค่าอุณหภูมิของน้ำในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2



ภาพที่ 49 ค่าอุณหภูมิของน้ำในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2



ภาพที่ 50 ค่าอุณหภูมิน้ำในกระบายน้ำถาดที่ 1 และ 2

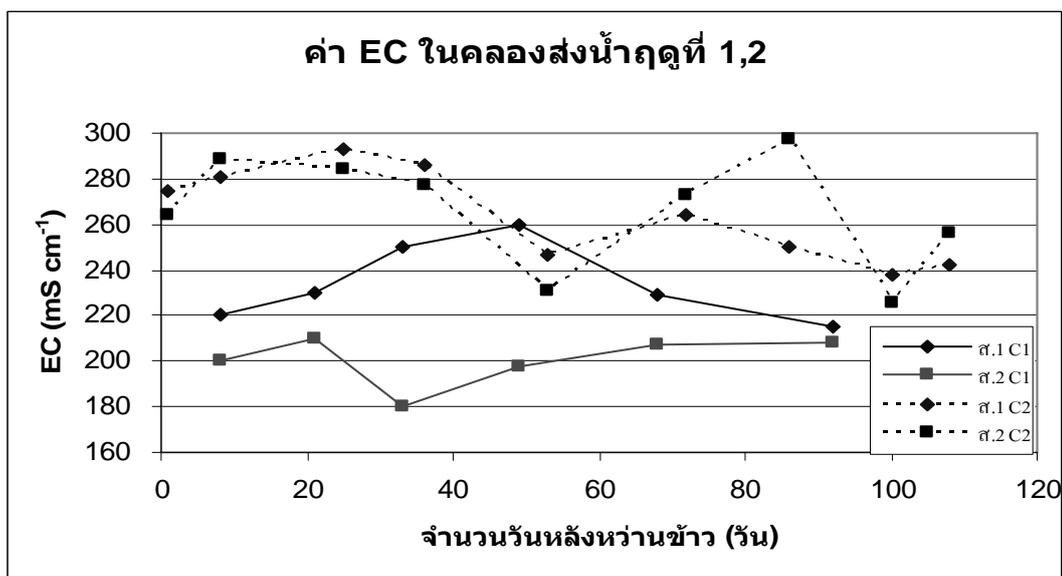


ภาพที่ 51 ค่าอุณหภูมิน้ำในนาข้าวถาดที่ 1 และ 2

ข. ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (Electric Conductivity, EC)

1) คลองส่งน้ำ

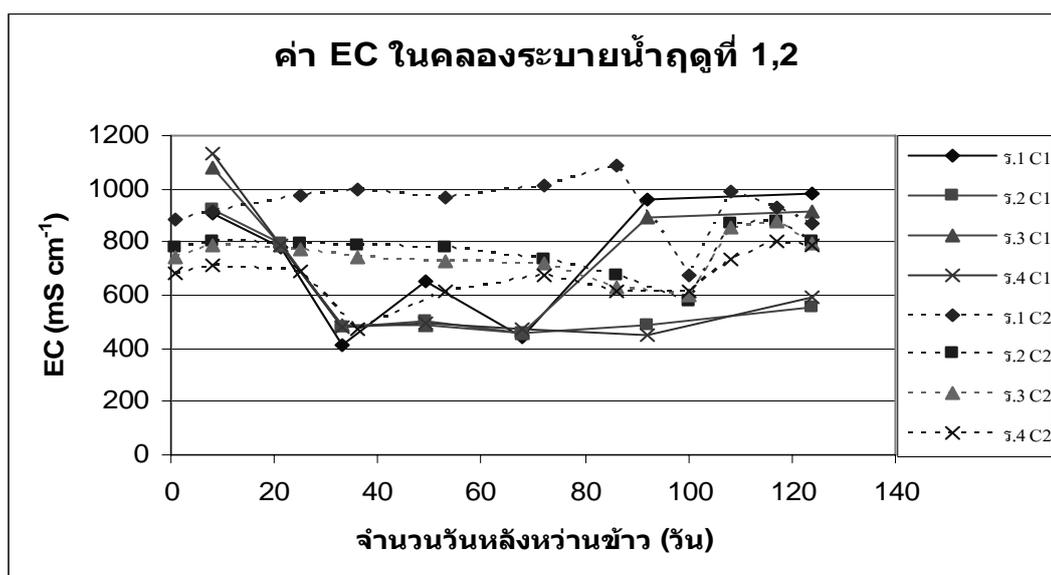
ค่า EC คือค่าความสามารถของน้ำที่ให้กระแสไฟฟ้าผ่านสื่อไฟฟ้าหรือไอออนทั้งหมดในน้ำ เป็นการแสดงค่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของไอออนที่ละลายในน้ำ การทดลองวัดค่า EC จากคลองส่งน้ำคือคลอง ส.1 และ ส.2 แสดงตามภาพที่ 52 โดยฤดูที่ 1 พบว่ามีค่าอยู่ในพิสัย 215 - 260 และ 180-210 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 234 และ 201 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าจากคลอง ส.1 มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยแสดงว่ามีค่าไอออนที่แตกตัวมากกว่า ส่วนฤดูที่ 2 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในพิสัย 238 - 292 และ 226-289 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 264 และ 266 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ อย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่าในฤดูที่ 2 สูงกว่าฤดูที่ 1



ภาพที่ 52 ค่า EC ของน้ำในคลองส่งน้ำฤดูที่ 1 และ 2

2) คลองระบายน้ำ

ค่า EC ที่วัดจากจุดต่างๆ ในคลองระบายน้ำคือจุด ร.1, ร.2, ร.3 และ ร.4 แสดงตามภาพที่ 53 โดยจุดที่ 1 พบว่ามีค่าอยู่ในพิสัย 410 – 982, 456 – 920, 459 – 1083 และ 450 - 1130 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับและมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 733, 599, 730 และ 630 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าที่จุด ร.1 และ ร.3 พบว่าการระบายน้ำในช่วงแรกให้ค่า EC สูงกว่าในทุกช่วงคลองระบายน้ำ ส่วนในจุด ร.2 และ ร.4 ให้ค่า EC ในช่วงการระบายน้ำช่วงแรกและช่วงสุดท้ายมีค่าสูงกว่าช่วงอื่นๆ ดังนั้นที่เวลาต่างกันค่าการแตกตัวของอออนมีค่าต่างกัน อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยตลอดฤดูเพาะปลูกของทั้ง 4 จุดมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนจุดที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 673 – 108, 580 – 88, 660 - 879 และ 471 - 802 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 935, 772, 749 และ 673 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ ค่าที่จุดค่าที่จุด ร.2 และ ร.3 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าที่จุด ร.1 และ ร.4 มีค่าสูงสุดและต่ำสุด อย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่าในจุดที่ 2 สูงกว่าจุดที่ 1 และหลังจากการระบายน้ำก่อนเก็บเกี่ยวค่า EC สูงขึ้นในทั้งสองฤดู อนึ่งกรมควบคุมมลพิษไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐาน EC ไว้ จึงใช้ค่ามาตรฐานของ EPA (1973) ซึ่งระบุว่าค่าการนำไฟฟ้าที่ใช้ได้อย่างปลอดภัยต่อการอุปโภค บริโภค การเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์มีค่าระหว่าง 750-1500 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ดังนั้นค่า EC จากกราฟพบว่าให้ค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย

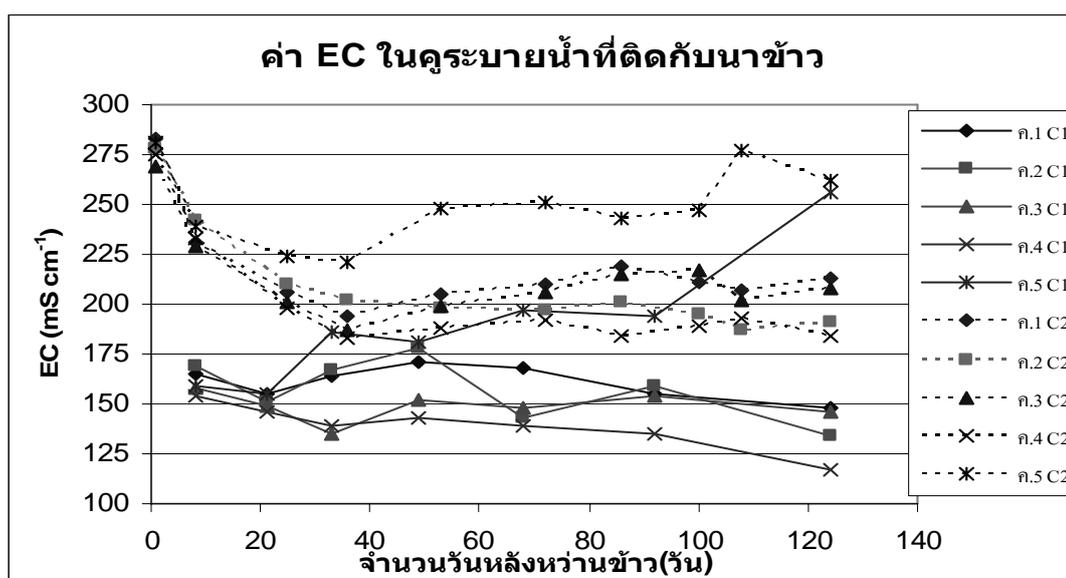


ภาพที่ 53 ค่า EC ของน้ำในคลองระบายน้ำฤดูที่ 1 และ 2

3) ภาวะบายน้

ค่า EC ที่วัดจากจุดต่างๆ ในภาวะบายน้ที่รับน้ำจากนาข้าวคือที่จุด ค.1, ค.2, ค.3, ค.4 และ ค.5 แสดงตามภาพที่ 54 โดยฤดูที่ 1 พบว่ามีค่าอยู่ที่พิสัย 148 - 171, 134 - 178, 135 - 158, 117 - 154 และ 155-256 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับและมีค่าเฉลี่ยคือ 161, 157, 149, 139 และ 190 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ ส่วนฤดูที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 194 - 283, 187 - 278, 187 - 269, 183 - 275 และ 221 - 281 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 218, 210, 213, 202 และ 249 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ ค่าที่จุดค่าที่จุด ร.2 และ ร.3 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าที่จุดร.1 และ ร.4 มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่าในฤดูที่ 2 สูงกว่าฤดูที่ 1 และจากกราฟจะเห็นได้ว่าการให้น้ในนาแบบเปียกสลับแห้งทำให้จุด ค.4 มีการแตกตัวของอิออนเฉลี่ยน้อยที่สุดและมีแนวโน้มการแตกตัวของอิออนลดลงจากต้นฤดูไปยังปลายฤดู ส่วนการทำนาแบบดั้งเดิมทำให้ภาวะบายน้ใกล้เคียงมีสารต่างๆ ที่แตกตัวเป็นอิออนเฉลี่ยมากที่สุดและมีแนวโน้มที่การแตกตัวของอิออนสูงขึ้นจากต้นฤดูไปยังปลายฤดู

อนึ่งค่า EC ในภาวะบายน้ที่ติดกับนาข้าวที่มีการจัดการน้ำแบบต่างๆ พบว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ แสดงว่าค่าอิออนทั้งหมดในน้มีค่าไม่มากนัก อย่างไรก็ตามในการจัดการน้ำแบบดั้งเดิมในแต่ละฤดูมีค่าสูงกว่าการจัดการน้ำแบบอื่นๆ รวมทั้งมีค่าการเพิ่มขึ้นในช่วงปลายฤดูหรือช่วงที่มีการระบายน้ำก่อนการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้ค่าที่ได้ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้

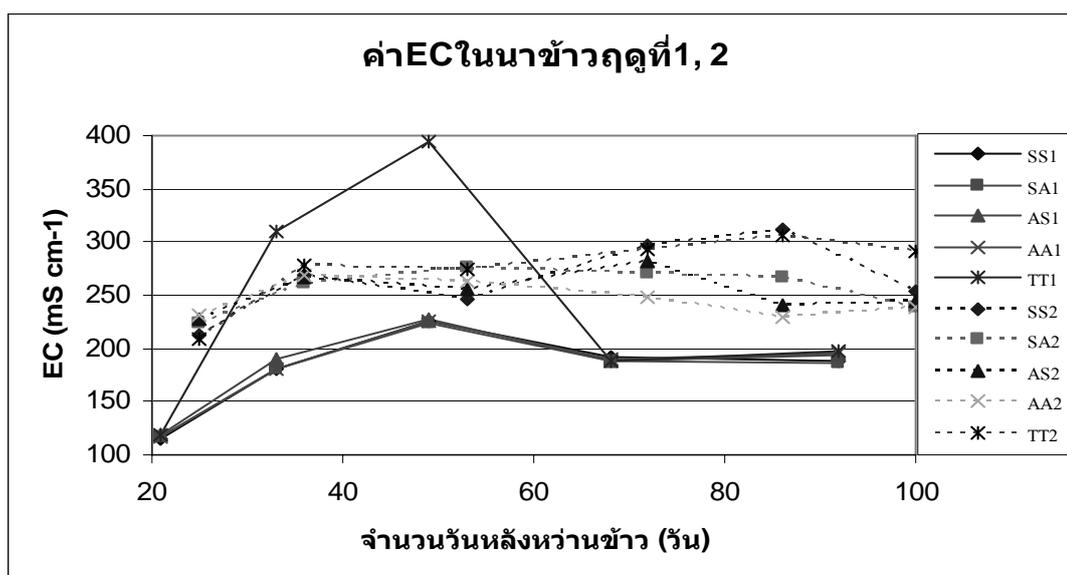


ภาพที่ 54 ค่า EC ของน้ในภาวะบายน้ฤดูที่ 1 และ 2

4) นาข้าว

ค่า EC ที่วัดจากในนาข้าวที่มีการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS, AA และ TT แสดงตามภาพที่ 55 สำหรับฤดูที่ 1 พบว่ามีค่า EC ที่พิสัย 115 – 226, 117 – 224, 118 – 227, 116 – 226 และ 119 – 395 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยในแปลงนาของสถานีทดลองชลประทานมีค่าใกล้เคียงกันคือ 180, 179, 183 และ 181 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ส่วนค่าในนาข้าวของเกษตรกรมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าคือมีค่า 242 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในฤดูที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 212 – 311, 223 – 277, 227 - 281, 231 – 269 และ 208 - 306 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ รวมทั้งมีค่าเฉลี่ยตลอดฤดูคือ 265, 256, 252, 247 และ 275 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยในแปลงนาของสถานีทดลองชลประทานมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าในนาข้าวของเกษตรกรมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าเช่นเดียวกับฤดูที่ 1 ค่าที่ช่วงเวลาต่างๆ ของการจัดการน้ำในแปลงนาทดลองชลประทานให้ค่าที่สูงกว่าฤดูที่ 1

อย่างไรก็ตามพบว่ามีแนวโน้มที่มีการแตกตัวของอิออนมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยจะมีค่าสูงสุดหลังมีการใส่ปุ๋ยในนาข้าว แต่จากการเปรียบเทียบจากแหล่งน้ำต่างๆ ค่า EC ในคลองระบายน้ำยังคงสูงที่สุดในทุกช่วงเวลา นั่นคือมีค่าของสารละลายที่แตกตัวเป็นอิออนมากกว่านั่นเอง



ภาพที่ 55 ค่า EC ของน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2

4. ผลคุณภาพดิน

ผลของคุณภาพดิน ได้แก่ pH, EC, C/N (อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน), OM (ปริมาณสารอินทรีย์), NH_4 (แอมโมเนียม), NO_3 (ไนเตรท), P (ฟอสเฟต) และ K (โพแทสเซียม) สำหรับการทดลองการจัดการน้ำแบบต่างๆ ในนาข้าวฤดูที่ 1 และ 2 แสดงในตารางที่ 16-17 มีดังนี้คือ

4.1 ค่า pH ของดิน

ผลของค่า pH ในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองมีค่า 6.48 และ 6.28 ขณะที่หลังการทดลองพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ให้ค่าลดลงใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 6.30, 6.21, 6.34, 6.35 และ 5.96, 5.91, 6.04, 6.07 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยในทุกการจัดการน้ำที่ 6.30 และ 6.00 ตามลำดับ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.06 และ 0.07 ตามลำดับ ส่วนในการจัดการน้ำแบบ TT ก่อนการทดลองมีค่า 6.57 และ 6.40 หลังการทดลองให้ค่าลดลงเล็กน้อยคือมีค่า 6.43, 6.31 ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยลงไปดินน่าจะทำให้ค่า pH ของดินลดลง

4.2 ค่า EC

ผลของค่า EC ในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองมีค่า 0.31 และ 0.27 dS m^{-1} ขณะที่หลังการทดลองพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ให้ค่าลดลงเล็กน้อยใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 0.29, 0.26, 0.24, 0.28 dS m^{-1} และ 0.20, 0.18, 0.17, 0.21 dS m^{-1} ตามลำดับมีค่าเฉลี่ยในทุกการจัดการน้ำที่ 0.27 และ 0.19 dS m^{-1} ตามลำดับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.022 และ 0.018 ตามลำดับ ส่วนในการจัดการน้ำแบบ TT ก่อนการทดลองมีค่า 0.49-0.43 dS m^{-1} หลังการทดลองให้ค่าลดลงเล็กน้อยคือมีค่า 0.42 และ 0.35 dS m^{-1} ทั้งนี้ค่า EC ของดินลดลงเล็กน้อยเช่นกัน

4.3 ค่า C/N (อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน)

ผลของค่า C/N ในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองมีค่า 12.34 และ 12.36 ขณะที่หลังการทดลองพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ให้ค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่า 12.35, 12.35, 12.36, 12.35 และ 12.36, 12.35, 12.36, 12.35 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยในทุกการจัดการน้ำที่ 12.35 และ 12.36 ตามลำดับ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.005 และ 0.006 ตามลำดับ ส่วนในการจัดการน้ำแบบ TT ก่อนการทดลองทั้งสองฤดูมีค่า 12.20 หลังการทดลองให้ค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยคือมีค่า 12.22 โดยค่าก่อนและหลังการทดลองเปลี่ยนแปลงน้อยมากทั้งนี้แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนและไนโตรเจนในการถูกใช้ไปและสะสมเพิ่มเติมในดินมีสัดส่วนใกล้เคียงกัน

4.4 ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (OM)

ผลของค่า OM ในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองมีค่า 0.31 และ 0.93 % ขณะที่หลังการทดลองพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ให้ค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันโดยมีค่า 0.84, 0.87, 0.97, 1.01% และ 1.95, 1.93, 2.04, 2.03 % ตามลำดับมีค่าเฉลี่ยในทุกการจัดการน้ำที่ 0.92 และ 1.98 % ตามลำดับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.08 และ 0.06 ตามลำดับ ส่วนในการจัดการน้ำแบบ TT ก่อนการทดลองมีค่า 0.86 และ 0.89 % ตามลำดับหลังการทดลองให้ค่าเพิ่มขึ้นคือมีค่า 1.94 และ 2.03 % ตามลำดับทั้งนี้ค่าที่เพิ่มขึ้น OM ในดินเกิดจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปรวมทั้งมีการสลายตัวของต้นข้าวในบางส่วน

4.5 ปริมาณแอมโมเนียมในดิน ($\text{NH}_4\text{-N}$)

ผลของค่า $\text{NH}_4\text{-N}$ ในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองมีค่า 15.71 และ 0.93 % ขณะที่หลังการทดลองพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ให้ค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันโดยมีค่า 7.85, 7.85, 7.85, 0.00 mg kg^{-1} และ 7.85, 15.71, 15.71, 7.85 mg kg^{-1} ตามลำดับ ส่วนในการจัดการน้ำแบบ TT ก่อนการทดลองทั้งสองฤดูมีค่า 23.85 mg kg^{-1} หลังการทดลองให้ค่าคือ 7.85 mg kg^{-1} ทั้งนี้ค่า $\text{NH}_4\text{-N}$ มีทั้งค่าที่เพิ่มขึ้น เท่าเดิมและลดลงเล็กน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไนโตรเจนไปในกระบวนการต่างๆ ของแต่ละการจัดการน้ำทำให้เหลือ $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่สะสมในดินที่เวลาใดๆ มากน้อยต่างกัน

4.6 ปริมาณไนเตรทในดิน ($\text{NO}_3\text{-N}$)

ผลของค่า $\text{NO}_3\text{-N}$ ในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองไม่มีการสะสมไนเตรทในดินทุก การจัดการน้ำ ขณะที่หลังการทดลองทั้งสองฤดูพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS, AA, TT ให้ค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 7.85, 7.85, 7.85, 0.00 และ 7.85 mg kg^{-1} ตามลำดับค่าที่เปลี่ยนแปลงไป มีค่าน้อยมาก ทั้งนี้เพราะสารไนเตรทมีประจุต่างกับดิน การดึงดูดกับอนุภาคของดินมีน้อย สารจะถูก แพร่กระจายไปกับน้ำทั้งจากการรั่วซึมไปกับน้ำใต้ดินและการระบายน้ำผิวดิน รวมทั้งมีการเปลี่ยน รูปไปในกระบวนการต่างๆ อย่างรวดเร็วทำให้การสะสมในดินน้อยมาก การเปลี่ยนแปลงจึงมีน้อย เช่นกัน

4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (P)

ผลของค่าฟอสฟอรัสในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองมีค่า 55.92 และ 56.20 mg kg^{-1} ตามลำดับ ขณะที่หลังการทดลองพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ให้ค่าเพิ่มขึ้น เล็กน้อยใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 56.30, 56.17, 57.31, 58.25 mg kg^{-1} และ 58.43, 56.70, 60.94, 62.33 mg kg^{-1} ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยในทุกการจัดการน้ำที่ 57.01 และ 59.60 mg kg^{-1} ตามลำดับและ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.97 และ 2.52 mg kg^{-1} ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสทั้งนี้เพราะมี การใส่ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสในครั้งแรก รวมทั้งมีฟอสฟอรัสสะสมอยู่ในดิน มีการรั่วซึมของฟอสฟอรัส ไปกับน้ำใต้ดินน้อยมาก ดังนั้นแสดงว่าการดึงฟอสฟอรัสไปใช้โดยพืชมีค่าน้อยกว่าปริมาณฟอสฟอรัส ที่มีอยู่ค่าจึงเพิ่มขึ้น ขณะที่ในการจัดการน้ำแบบ TT ก่อนการทดลองทั้งสองฤดูมีค่า 36.35 และ 35.6 mg kg^{-1} ตามลำดับ ส่วนหลังการทดลองให้ค่าลดลงคือมีค่า 35.54 และ 34.47 mg kg^{-1} ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าฟอสฟอรัสที่ลดลงเกิดจากการที่มีการระบายน้ำผ่านผิวดินในช่วงก่อนการใส่ปุ๋ย มีการชะล้าง หน้าดินออกไป ทำให้ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตดึงดูดกับอนุภาคดินได้ดีติดไปกับดินด้วย รวมทั้งมีอิออนของฟอสเฟตในสารละลายบางชนิดถูกระบายไปกับน้ำด้วยทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส ลดลงมากกว่า

4.8 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน (K)

ผลของค่าโพแทสเซียมในฤดูที่ 1 และ 2 ก่อนการทดลองมีค่า 88.80 และ 74.60 mg kg^{-1} ตามลำดับ ขณะที่หลังการทดลองพบว่าในการจัดการน้ำแบบ SS, SA, AS และ AA ให้ค่าลดลง

เล็กน้อยใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 74.90, 70.25, 72.40, 70.50 mg kg^{-1} และ 62.63, 53.37, 57.07, 55.77 mg kg^{-1} ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยในทุกการจัดการน้ำที่ 72.01 และ 57.21 mg kg^{-1} ตามลำดับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 2.15 และ 3.93 ตามลำดับ สำหรับในการจัดการน้ำแบบ TT ก่อนการทดลองทั้งสองฤดู มีค่า 243.84 และ 226.31 mg kg^{-1} ตามลำดับ ส่วนหลังการทดลองให้ค่าลดลงคือมีค่า 237.20 และ 219.29 mg kg^{-1} ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าโพแทสเซียมที่ลดลงในทุกการจัดการน้ำเพราะในการทดลองไม่มีการใส่ปุ๋ยที่มีสาร โพแทสเซียมลงไปดิน อย่างไรก็ตามพืชต้องใช้สารนี้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงมีการดึงจากดินไปใช้ทำให้ค่าในดินลดลง

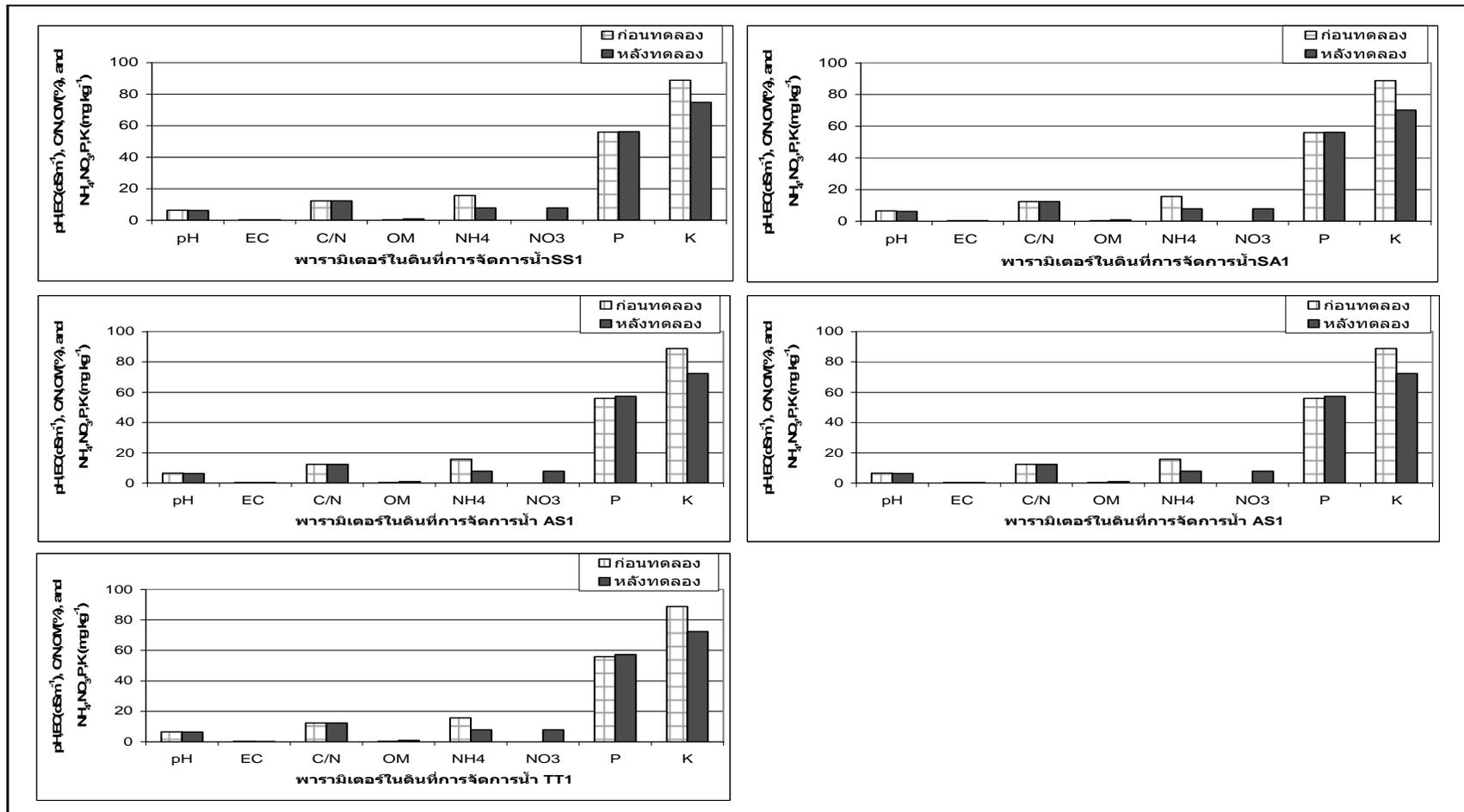
จากผลการจัดการน้ำต่างๆเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการทดลองของฤดูที่ 1 และ 2 ตามภาพที่ 56-57 จะเห็นได้ว่า ค่า pH, K และ EC มีค่าลดลงเล็กน้อย ค่า C/N, NO_3 , NH_4 และ P มีค่าแนวโน้มทั้งเพิ่มขึ้น เท่าเดิมและลดลง ขณะที่ค่า OM มีการเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า ในระยะเวลาเพาะปลูกประมาณ 4 เดือนต่อฤดูที่ทำการปลูกข้าวทั้งสองฤดูทำให้ดินมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากในทุกการจัดการน้ำ ซึ่งถ้าเพิ่มระยะเวลาเก็บข้อมูลให้นานกว่านี้ควรจะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น

ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพดินในการจัดการน้ำแบบต่างๆ ฤดูที่ 1

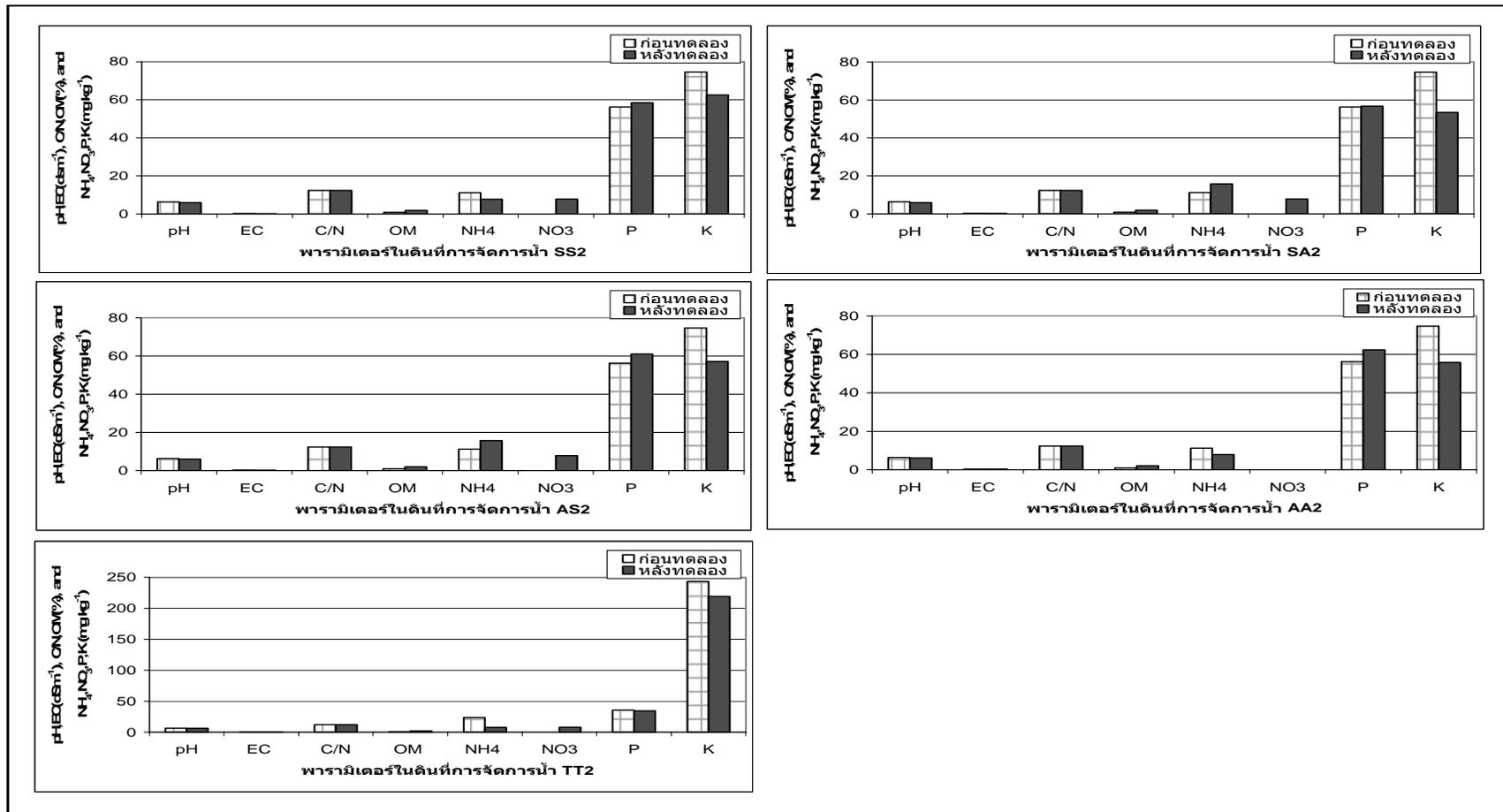
พารามิเตอร์ดิน	การจัดการน้ำ									
	SS1		SA1		AS1		AA1		TT1	
	ก่อน ทดลอง	หลัง ทดลอง								
pH	6.48	6.30	6.48	6.21	6.48	6.34	6.48	6.35	6.57	6.43
EC (dSm ⁻¹)	0.31	0.29	0.31	0.26	0.31	0.24	0.31	0.28	0.49	0.42
C/N	12.34	12.35	12.34	12.35	12.34	12.36	12.34	12.35	12.20	12.22
OM (%)	0.31	0.87	0.31	0.84	0.31	0.97	0.31	1.01	0.86	1.94
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	15.71	7.85	15.71	7.85	15.71	7.85	15.71	0.00	23.56	7.85
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	0.00	7.85	0.00	7.85	0.00	7.85	0.00	0.00	0.00	7.85
P (mg kg ⁻¹)	55.92	56.30	55.92	56.17	55.92	57.31	55.92	58.25	36.35	35.54
K (mg kg ⁻¹)	88.80	74.90	88.80	70.25	88.80	72.40	88.80	70.50	243.84	237.20

ตารางที่ 17 ค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพดินในการจัดการน้ำแบบต่างๆ ฤดูที่ 2

พารามิเตอร์ดิน	การจัดการน้ำ									
	SS2		SA2		AS2		AA2		TT2	
	ก่อน ทดลอง	หลัง ทดลอง	ก่อน ทดลอง	หลัง ทดลอง	ก่อน ทดลอง	หลัง ทดลอง	ก่อน ทดลอง	หลัง ทดลอง	ก่อน ทดลอง	หลังทดลอง
pH	6.28	5.96	6.3	5.91	6.3	6.04	6.3	6.07	6.4	6.31
EC (dSm ⁻¹)	0.27	0.2	0.27	0.18	0.27	0.17	0.27	0.21	0.43	0.35
C/N	12.36	12.36	12.36	12.35	12.36	12.36	12.36	12.35	12.2	12.22
OM (%)	0.93	1.95	0.93	1.93	0.93	2.04	0.93	2.03	0.89	2.03
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	15.71	7.85	15.71	15.71	15.71	15.71	15.71	7.85	23.56	7.85
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	0	7.85	0	7.85	0	7.85	0	0	0	7.85
P (mg kg ⁻¹)	56.2	58.43	56.2	56.7	56.2	60.94	56.2	62.33	35.6	34.47
K (mg kg ⁻¹)	74.6	62.63	74.6	53.37	74.6	57.07	74.6	55.77	226.31	219.29



ภาพที่ 56 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ในดินก่อนและหลังการทดลองฤดูที่ 1



ภาพที่ 57 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ในดินก่อนและหลังการทดลองฤดูที่ 2

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การจัดการน้ำโดยให้มีการท่วมขังในนาข้าวที่ระดับต่างกัน และระยะเวลาที่น้ำท่วมขังต่างกันในเดือนๆ พบว่าเมื่อมีการให้น้ำท่วมขังตลอดเวลาและระดับน้ำสูงกว่าจะมีการปลดปล่อยมีเทนสูงสุด ในขณะที่การจัดการน้ำที่มีการท่วมขังน้อยกว่าและดินได้รับออกซิเจนในบางช่วงเวลาจะช่วยให้ลดปริมาณมีเทนได้ ดังนั้นกล่าวได้ว่าการจัดการน้ำมีผลต่อการเกิดมีเทน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนาแบบดั้งเดิม (TT) พบว่าเงื่อนไขที่ 1-4 (SS, SA, AS และ AA) ซึ่งเป็นการจัดการน้ำแบบน้ำตื้น แบบเปียกสลับแห้งหรือน้ำทั้งสองแบบมาใช้ร่วมกัน สามารถลดปริมาณมีเทนได้ 20.2% – 78.2 % ในฤดูที่ 1 และ 26.6% – 81.6% ในฤดูที่ 2 ดังนั้นถ้าพิจารณาในภาพรวมทั่วโลกจะสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศได้มาก ช่วยลดปัญหาโลกร้อนและส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกลดลง ขณะเดียวกันยังสามารถลดการใช้น้ำชลประทานในทั้งสองฤดูได้ประมาณ 39.7% - 71.7% เมื่อเทียบกับการทำนาแบบดั้งเดิม และประหยัดน้ำได้ประมาณ 31.6 % - 52.6% เมื่อคิดจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้ อย่างไรก็ตามผลผลิตข้าวที่ได้จากแต่ละเงื่อนไขแบบ SS, SA, AS และ AA มีความแตกต่างกันน้อยโดยมีค่าประมาณ 760, 880, 840 และ 840 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มสูงกว่าการทำนาแบบดั้งเดิมหรือแบบ TT ซึ่งมีผลผลิตประมาณ 716 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงว่าการจัดการน้ำแบบประหยัดไม่ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง สำหรับผลการทดลองด้านคุณภาพน้ำพบว่าการจัดการน้ำเงื่อนไขที่ 4 คือแบบเปียกสลับแห้งทั้งสองช่วง (AA) ยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำน้อยกว่า ส่วนแบบน้ำตื้นต่อด้วยแบบเปียกสลับแห้ง (SA) และ แบบเปียกสลับแห้ง ต่อด้วยแบบน้ำตื้น (AS) ส่งผลกระทบต่อใกล้เคียงกัน ขณะที่การจัดการน้ำแบบน้ำตื้นทั้งสองช่วง (SS) ส่งผลมากกว่า อย่างไรก็ตามการทำนาแบบดั้งเดิมของเกษตรกร (TT) ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้เพราะแบบเปียกสลับแห้งหรือ AA มีระดับน้ำในนาข้าวโดยรวมทั้งมีช่วงที่ดินแห้ง การรั่วซึมน้ำจากนาข้าวจะมีน้อย ดังนั้นการนำสารละลายต่างๆ ออกไปจึงน้อยเช่นกัน นอกจากนี้การระบายน้ำจากนาข้าวก่อนการใส่ปุ๋ยมีส่วนสำคัญในการนำสารละลายออกไปสู่คลองระบายน้ำใกล้เคียง ปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาณน้ำที่ระบายออกไป ปริมาณฝนที่ตกลงมารวมทั้งระยะห่างระหว่างนาข้าวและคลองระบายน้ำ ส่วนผลกระทบต่อคุณภาพดินพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระยะเวลาสั้นๆ

อย่างไรก็ตามการจัดการน้ำที่จะเลือกใช้นอกจากจะดูว่าทำให้มีเทนน้อยลงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำน้อยแล้ว จะต้องพิจารณาความเหมาะสมด้านอื่นด้วยได้แก่ช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช ช่วงไหนควรจะให้ดินมีสภาพเปียก และช่วงไหนควรมีสภาพแห้ง ตลอดจนเวลาในการให้น้ำท่วมขัง ปริมาณน้ำที่ใช้ ความยากง่ายในการจัดการ เป็นต้น

อนึ่งการวิเคราะห์จากแบบจำลอง DNDC สำหรับการเกิดก๊าซมีเทนยังพบว่าปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่ soil texture และ ค่าpHในดินมีความสำคัญ โดยดินเป็นกรดจะให้ปริมาณมีเทนน้อยกว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดินมีผลปานกลาง ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลเหนือดินสู่พื้นดินมีผลน้อยมากสำหรับการวิเคราะห์ช่วงสั้นๆ การเพิ่มช่วงเวลาให้ดินมีอากาศมากขึ้นในช่วงการเพาะปลูกเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะสามารถลดมีเทนได้ รวมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลในสนามกับแบบจำลองให้ค่าที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน จึงสามารถนำแบบจำลอง DNDC มาประยุกต์ใช้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ เป็นการต่อยอดได้

ดังนั้นเทคนิคการจัดการน้ำนี้จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการน้ำในนาข้าวได้จริง เพื่อลดผลกระทบจากมีเทน ลดการใช้น้ำและลดผลกระทบที่มีต่อคุณภาพน้ำในขณะเดียวกัน ตลอดจนเข้ากับกระแสปัจจุบันที่ข้าวมีราคาแพงมีความต้องการปลูกข้าวมาก ขาดน้ำชลประทานต้องใช้น้ำแบบประหยัด และมีปัญหาโลกร้อนมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้เกษตรกรซึ่งคุ้นเคยกับการทำนาแบบดั้งเดิมปรับเปลี่ยนมาทำนาแบบดังกล่าว อาจจะต้องใช้เวลาในการปรับเปลี่ยน โดยแนะนำให้ใช้เงื่อนไขแบบน้ำตื้นร่วมกับแบบเปียกสลับแห้ง (SA และ AS) ก่อนเพื่อให้คุ้นกับวิธีปฏิบัติและชาวนายังเห็นน้ำท่วมขังอยู่ในนาในระยะข้าวเจริญเติบโตบ้าง ตลอดจนมีเทนก็ลดลง ต่อมาค่อยๆเปลี่ยนเป็นเงื่อนไขแบบเปียกสลับแห้ง (AA) ในกรณีที่มีน้ำน้อย แต่ทั้งนี้ระบบการให้น้ำชลประทานจะต้องมีประสิทธิภาพ สามารถส่งน้ำได้ทันความต้องการ มิฉะนั้นจะเกิดความเสียหายต่อผลผลิตเนื่องจากในนาข้าวมีความชื้นในดินต่ำ รวมทั้งความร่วมมือของหน่วยงานต่างๆ ที่จะเข้าไปส่งเสริม ชี้แจงให้ความรู้และสนับสนุนการทำนาของเกษตรกร ถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะช่วยกันผลักดันให้มีการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภูมิอากาศและน้ำ ตลอดจนเป็นแนวทางในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น ดังนั้นจากการทดลองสรุปได้ว่าการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งและระดับน้ำตื้นเป็นแนวทางที่ทำให้มีการประหยัดน้ำ ลดปริมาณการปลดปล่อยมีเทนในนาข้าว รวมทั้งทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นกว่าการทำนาแบบดั้งเดิม

ข้อเสนอแนะ

อนึ่งการทดลองนี้ได้กำหนดการให้น้ำเป็นแบบน้ำตื้นและเปียกสลับแห้งซึ่งมีน้ำท่วมขัง 10 ถึง 5 เซนติเมตร และ 5 ถึง -5 เซนติเมตรนอกเหนือจากการทำนาแบบดั้งเดิม ดังนั้นการทดลองต่อไปควรมีการเพิ่มเติมทางเลือกของการจัดการน้ำ โดยอาจมีการเปลี่ยนระดับน้ำให้เหมาะสมกับต้นทุนน้ำที่มีอยู่หรือเปลี่ยนไปตามฤดูกาลต่างๆ มีการทำนายปริมาณฝนและวันที่เกิดฝนเพื่อนำไปวิเคราะห์หาการจัดการน้ำที่สามารถใช้ฝนใช้การได้มากที่สุด ลดปริมาณน้ำที่ระบายทางผิวดินปรับคันนาให้สูงขึ้น และสำหรับการจัดการน้ำอาจทำให้การกระจายของก๊าซบางตัวลดลง ในขณะที่บางตัวเพิ่มขึ้น ก็ควรนำมาพิจารณาถึงผลดีผลเสียโดยรวมด้วย สำหรับแนวทางอื่นๆ ที่จะนำมาช่วยในการจัดการน้ำในนาข้าวร่วมกัน ได้แก่ การไถพรวนดินอย่างประณีตเพื่อกำจัดวัชพืชตั้งแต่ช่วงต้นฤดู เลือกพันธุ์ข้าว การเลือกใช้ชนิดของปุ๋ยที่ก่อให้เกิดมีเทนน้อย ใส่ปุ๋ยปริมาณที่เหมาะสมให้ปุ๋ยตรงกับเวลาที่พืชต้องการ ให้ปุ๋ยโดยวิธีที่จะช่วยให้พืชดูดปุ๋ยไปใช้ได้มากที่สุดก่อนที่จะถูกน้ำชะล้างไปจากดิน การควบคุมการระบายน้ำในช่วงใส่ปุ๋ยเป็นสิ่งจำเป็นเพราะเป็นช่วงที่ความเข้มข้นของสารละลายในนาสูงที่สุด ตลอดจนการปรับวันใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับช่วงเวลาของการเกิดฝน การนำฟางข้าวออกก่อนการไถกลบซึ่งจะช่วยให้ไนโตรเจนที่ติดอยู่ที่เกิดการหมักออกไปและจะไม่ใช้วิธีการเผาตอซัง ทั้งนี้เพราะต้องการลดคาร์บอนไดออกไซด์หรืออาจทำการปลูกพืชหมุนเวียนก่อนปลูกข้าวฤดูต่อไปเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในดิน รวมทั้งหาแนวทางในการควบคุมค่า Eh ในดินให้อยู่ในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดก๊าซมีเทน อย่างไรก็ตามการหาค่าความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างปัจจัยการผลิตในนาข้าว ผลผลิตข้าว ผลต่อคุณภาพน้ำและการเกิดมีเทนเป็นแนวทางที่ดีที่จะช่วยแก้ปัญหาต่างๆ อีกทางหนึ่งที่น่าสนใจ รวมทั้งการวิจัยหาว่ามีเทนที่เกิดขึ้นมีปริมาณเท่าไรจึงจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อนำไปวิเคราะห์และทำนายภาวะโลกร้อนในแต่ละพื้นที่ก่อนที่จะประมาณค่าในพื้นที่รวม นอกจากนี้ในแต่ละพื้นที่ที่มีก๊าซหลายชนิดที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนดังนั้นควรหาแนวทางในการจัดการต่างๆ โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากภาพรวมของทุกก๊าซ

ผลการวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงวิธีการจัดการน้ำและปัจจัยการผลิตในแปลงนาที่เหมาะสม ประหยัดและมีประสิทธิภาพ สามารถนำความสัมพันธ์ต่างๆ ไปใช้เป็นมาตรการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้ยังเป็นเพียงโครงการนำร่อง ซึ่งในการที่จะทำให้เกษตรกรเปลี่ยนแปลงวิธีการให้น้ำจากแบบเดิมที่เคยชินมาเป็นแบบที่ทำการวิจัยไว้ อาจก่อให้เกิดความวิตกกังวลถึงผลดีผลเสียในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ ในการประสานงานเพื่อเผยแพร่ข่าวสารความรู้และส่งเสริมการให้น้ำ

แบบที่ได้วิจัยไว้ ซึ่งเมื่อโครงการเกิดขึ้นแล้วจะก่อให้เกิดผลดีต่อคุณภาพชีวิตประชาชนทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจ โดยมีผลเกิดจากรายละเอียดของประโยชน์ต่างๆ ดังนี้คือ

1. สามารถลดผลกระทบปัญหาภัยแล้ง การทะเลาะวิวาทจากการแย่งน้ำได้ เนื่องจากมีการใช้น้ำแบบประหยัด และนำน้ำที่เหลือไปเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกได้
2. ทำให้สภาพแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศดีขึ้น ลดก๊าซเรือนกระจก นำสู่การแก้ปัญหาโลกร้อน ซึ่งจะมีผลดีต่อสุขภาพโดยรวมของประชาชน
3. คุณภาพน้ำดีขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมอื่นๆ ได้มากขึ้น เช่น การประมง อุตสาหกรรม เป็นต้น ส่งผลให้ประชาชนมีรายได้มากขึ้น
4. นำความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ไปใช้แก้ปัญหาและประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการเพาะปลูกพืช รวมทั้งพยากรณ์สถานการณ์และพฤติกรรมต่างๆ ด้านสิ่งแวดล้อมได้
5. มีการนำเสนอระบบการปลูกข้าวที่ประหยัดน้ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางที่ก่อให้เกิดการขยายผลไปสู่การปฏิบัติจริง ซึ่งอาจต้องมีความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมชลประทานและสำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

นอกจากนี้การวิจัยในอนาคตควรมีการเพิ่มเติมการทดลองต่างๆ ดังนี้คือ

1. การวัดค่า Eh เพื่อดูความสัมพันธ์ต่อการปลดปล่อยมีเทน
2. การทดลองหาวงจรการเกิดของมีเทน (methane cycle)
3. การทดลองในนาข้าวตลอดปีเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงการปลดปล่อยมีเทน
4. ทำการเก็บข้อมูลมีเทนอย่างสม่ำเสมอเป็น cycle
5. ไม่ควบคุมระดับน้ำสูงสุดเมื่อมีฝนตกเพื่อให้มีการระบายน้ำเป็นไปตามการปฏิบัติจริง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2551. **มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน**. แหล่งที่มา: <http://www.pcd.go.th>, 2 มกราคม 2551.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2540. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

กัลยา กุปต์กาญจนกุล. 2542. **การพัฒนาพันธุ์ข้าวในนิเวศนาข้าวสี**. สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2543. **ดินที่ใช้ปลูกข้าว**. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บัญชา ขวัญยืน, นิमित เจ็ดจันทน์พิพัฒน์ และ ภาสกร สัทธานนท์. 2541. **การศึกษาผลกระทบของการชลประทานต่อคุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลอง**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

บัณฑิตย คงอินทร์. 2550. **โลกสามมิติ**. หนังสือพิมพ์มติชนรายวัน 10 กุมภาพันธ์ 2550:

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2537. **ศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวและอิทธิพลของปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืชต่อการปลดปล่อยมีเทน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เพียงใจ วงศ์เชษฐา. 2529. **อิทธิพลของการจัดการน้ำต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข 23**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาคภูมิ พระประเสริฐ. 2543. **ผลของพันธุ์ข้าวเจ้าและชนิดของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาสกร สัทธานนท์. 2542. การวิเคราะห์ผลกระทบของการชลประทานต่อคุณภาพน้ำในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่ามะกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เขาวพา หัสธน. 2524. อิทธิพลการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตระยะยาวในดินนาภาคกลางที่มีต่อสมบัติทางเคมีบางประการของดิน การเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ระวีวรรณ กาญจนสุนทร. 2537. ผลของการทำนาสวนและนาไร่ต่อการปล่อยก๊าซมีเทนในจังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุกสุข ประดับสุข. 2542. ผลของการระบายน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวชนิดนาสวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2544. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม. โรงพิมพ์วิบูลย์การปก, กรุงเทพฯ.

อนุรักษ์ วิไล. 2543. ผลของระดับน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่มีการปลูกข้าวโดยวิธีหว่านน้ำตมและปักดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรนิตา จิตตสาตรา. 2542. อิทธิพลของพันธุ์ข้าวและชุดดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2541. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลกจากก๊าซปฏิกิริยาเรือนกระจกต่อการทำนาข้าว. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อัจฉรา ชุมวงศ์ และ บัญชา ขวัญยืน. 2549. การจัดการน้ำและปัจจัยการผลิตในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยแบบจำลอง DNDC. วิทยาสารกำแพงแสน 4: 122-130.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. **ปัญหาการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Abdullah, K. 2005. Integrated water management for food and environmental sustainability. *In* **PAWEES 2005 International Conference**. Japan.

Albritton, D.L. and L.G.M. Filho. 2001. Technical Summary, pp 21-83. *In* Houghton, J.I., Ding, Y., Griggs, D.J., Nogur, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), **Climate Change 2001. The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

Amin, M.A. 2002. **Predicting the Variations in Water Quality along an Irrigation Canal in Punjab, Pakistan**. M.S. Thesis, Macdonald Campus of Mc Gill University.

Aulakh, M.S. and B. Singh. 2000. Methan emissions from rice fields – quantification, mechanisms, role of management, and mitigation optins. **Adv. Agron.** 70: 193-260.

Aulakh, M.S., R. Wassmann and H. Rennenberg. 1997. Nitrogen losses and fertilizer N use efficiency in irrigated porous soils. **Nut. Cyc. Agroecosyst.** 47: 197-212.

Babu, Y.J., C. LI, S. Frolking, D.R. Nayak, A. Datta and T.K. Adhya. 2005. Modeling of methane emissions from rice-based production systems in India with the DNDC model: field validation and sensitivity analysis. **Current Science.** 89 (11)

Bachelet, D. and H.U. Neue. 1993. Methane emission from wetland rice areas of Asia. **Chemosphere.** 26: 219-237.

Barber, S.M. and M. Silberbush. 1984. Plant root morphology and nutrient uptake, pp. 65-87. *In* S.A. Barber and D.R. Bouldin, eds. **Roots Nutrient and Water Influx, and Plant Growth**. Spec. Publ. 49, Medison, WI.

- Barker, R., T.P. Tuong, Y. Li, E.G. Castillo and B.A.M. Bouman. 2004. Growing more rice with less water research findings from a study in china. **Paddy and Water Environment**. 2 (4): 185.
- Bekku, W., H. Koizumi, T. Nakadai and H. Iwaki. 1995. Measurement of soil respiration using Closed Chamber Method: An IRGA Technique. **Ecological Research** 11: 369-373.
- Bhuiyan, S.I. 1992. Water management in relation to crop productivity: Case study on rice. **Outlook Agriculture**. 21(4): 293-299.
- Blasing, T.J. and K. Smith. 2006. **Recent Greenhouse Gas Concentrations**. US. Department of Energy, U.S.A.
- Bouman, B.A.M. and T.P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agric Water Manage**. 49: 11-30.
- Bridgham, S.D. and C.J. Richardson. 1992. Mechanisms controlling soil respiration (CO₂ and CH₄) in southern peat lands. **Soil Biol. Biochem**. 24: 1089-1099.
- Cai, Z., T. Sawamoto, C. Li, G. Kang, J. Boonjawat, A. Mosier, R. Wassman and H. Tsuruta. 2003. Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian. **Global Biogeochemical Cycles**. 17 (4).
- Cao, M., J.B. Dent, and O.W. Heal. 1995. Modeling methane emissions from rice paddies. **Global Biogeochem**. 9: 183-195.
- Cao, M., K. Gregson and S. Marshall. 1998. Global methane emissions from wetlands and its sentivity to climate change. **Atmos. Environ**. 32: 3293-3299.

- Cao, M., S. Marshall, and K. Gregson. 1996. Global carbon exchange and methane emissions from natural wetlands. **J. Geophys. Res.** 101: 14399-14414.
- Chidthaisong, A. 2007. **Closed Chamber Method to Measure CH₄ and N₂O Fluxes from Rice Field and Forest.** Presented at JGSEE APN Training Workshop 1-3 May, Bangkok, Thailand.
- Chin, K. J. and R. Conrad. 1995. Intermediary metabolism in methanogenic paddy soils and the influence of temperature. **FEMS Microbiology and Ecology.** 18: 85-102.
- Chowdary, V.M., N.H. Rao and P.B.S. Sarma. 2003. A coupled soil water and nitrogen balance model for flooded rice field in India. **Agriculture, Ecosystem & Environment.** 3: 425-441.
- Chung, S.O., H.S. Kim and J.S. Kim. 2003. Model development for nutrient loading from paddy rice fields. **Agri. Wat. Manage.** 62: 1-17.
- Connell, W.E. and W.H. Patrick, Jr. 1969. Reduction of sulfate to sulfide in waterlogged soil. **Soil Sci. Am. Proc.** 33: 711-715.
- Cui, J., C. Li, G. Sun and C. Trettin. 2005. Linkage of MIKE SHE to wetland-DNDC for carbon budgeting and anaerobic biochemistry simulation. **Biochemistry.** 72: 147-167.
- De Delta, S.K. 1981. **Fertilizer Management for Efficient Use in Wetland Rice Soil.** Los Banos, laguna, Phillippines.
- Denier van der Gon, H. A. C. 1996. **Methane Emission from Wetland Rice Fields.** Wageningen UR publication, Netherlands.

- Denier Van der Gon, H.A.C. and H.U. Nene. 1994. Impact of gypsum application on the methane emission from a wetland rice field. **Global Biochem.** 8: 127-134.
- Denier van der Gon, H.A.C., P.M. Van Bodegom, R. Wassmann, R.S. Lantin and T. Mitra-Carton. 2001. Sulfate-containing soil amendments to reduce emissions from rice fields: Mechanisms, effectiveness and costs. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.** 6: 71-89.
- Dubey, S.K. 2001 Methane emission and rice agriculture. **Current Science.** 81: 345-346.
- Dunfield, P., R. Knowles, R. Dumont and T.R. Moore. 1993. Methane production and consumption in temperate and sub arctic peat soils : response to temperature and pH. soil bio. **Biochem.** 25: 321-326. **Cited in Peng, S. et. al.** 1995.
- Fang, X.J., Y.H. Li and M.Z. Zhang. 1996. Study on growing features of rice roots under water deficit irrigation conditions. **China Rural Water and Hydropower.** 8: 11-14.
- Farahbakhshazad, N., D. McLaughlin, D.L. Dinnes, D.B. Jaynes and C. Li. 2002. A site-specific evaluation of a crop-denitrification/decomposition model based upon a US midwestern row-crop field. **International Conference on Precision Agriculture Abstracts and Proceedings 2002**, Madison.
- Fiedler, S. and M. Sommer. 2000. Methane emission, ground water levels and redox potentials of common wetland soils in a temperate- humid climate. **Global Biogeochem.** 14: 1081-1093.
- Ghosh, B.C. and R. Bhat. 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. **Environ Pollut.** 102: 123-126.

Guerra, L.C., S.I. Bhiyan, T.P. Tuong and R. Barker. 1998. **Producing More Rice with Less Water from Irrigated Systems: SWIM Paper 5**. International Water Management, Colombo, Sri Lanka.

Hori, K., K. Inubushi, S. Matsumoto and H. Wada. 1993. Competition for hydrogen between methane formation and sulfate reduction in paddy soil. **Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.** 64: 363-367, in Japanese with English abstract. http://www.icid.org/wat_xijin.pdf, March 11, 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2007. **Climate Change 2007**. The Tenth Session of IPCC Working Group1, Paris.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Backwell, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. **The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC**. Eds JT Houghton, Y Ding, DJ Griggs, M Noguer, PJ van der Linden and D Xiaosa. Cambridge University Press, Cambridge.

International Rice Research Centers Institute. 2004. Methane emission from ricefields. Available Source: <http://www.riceweb.org/research>, April 22, 2006.

Ishizuka, S., H. Tsuruta and D. Murdiyarso. 2002. An intensive field study on CO, CH, and NO emission from soils at four land-use types in Sumatra, Indonesia. **Global Biogeochem.** 16: 1049.

- Jeon, J.H., G. Chun, J. Ham and H.S. Hwang. 2003. Mass balance analysis and water quality model development for loading estimates from paddy field. *In Diffuse Pollution Conference Dublin. Agriculture*. Rural Engineering Department, Konkuk University, Korea.
- Jeon, J.H., C.G. Yoon, J.H. Ham and K.W. Jung. 2004. Model development of nutrient loading estimates from paddy rice field in Korea. **Environ. Sci. Health**. 39: 845-860.
- Jeon, J.H., C.G. Yoon, J.H. Ham and K.W. Jung. 2005. **Model Development for Surface Drainage Loading Estimates from Paddy Rice Field**. Springer-Verlag.
- Kawara, O., H. Katsuya and T. Kunitsumu. 1996. A study on pollutant loads from the forest and rice paddy fields. **Water Sci Technol**. 33: 159-165.
- Kimura, M and K. Minami. 1995. **Dynamics of Methane in Rice field: Emissions of the Atmosphere in Japan and Thailand**. *In Climate Change and Rice*. Peng, S. et. al. (eds.) Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Knisel, W.G. 1993. **GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management system**. UGA-CPES-BAED Publication, USA.
- Kreye, C., K. Dittert, X. Zheng, X. Zhang, S. Lin, H. Tao and B. Sattlemacher. 2007. Flux of methane and nitrous oxide in water-saving rice production in north china. **Nutr Cycl Agroecosyst**. 77: 293-304.
- Li, C., S. Frolking and R. Harriss. 1994. Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. **Global Biogeochem**. 8: 237-254.
- Li, C. 2000. Modeling trace gas emissions from ecosystems. **Nutr Cycl Agroecosyst**. 58: 259-276.

- Li, C. 2007. Quantifying greenhouse gas emissions from soils scientific basis and modeling approach. **Soil Sci. and Plant Nutr.** 53: 344–352.
- Li, C. 2003. **User's Guide for the DNDC Model Version 8.2.** Institute for Study of Earth, Oceans and Space, University of New Hampshire, USA.
- _____, A. Mosier and R. Wassmann. 2004. Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: sensitivity and upscaling. **Global Biogeochem. Cycles** 18: GB1043.
- _____, S. Frolking, B.I. Moore, S. Boles, J. Qiu, Y. Huang, W. Salas and R. Sass. 2005. Modeling impacts of farming management alternatives on CO₂, CH₄, and N₂O emissions: A case study for water management of rice agriculture of China. **Global Biogeochem.** 19: doi: 10.1029/2004GB002341.
- _____, J. J. Qiu, S. Frolking, X. Xiao, W. Salas, B. Moore III, S. Boles, Y. Huang and R. Sass. 2002. Reduced methane emissions from large-scale changes in water management of China's rice paddies during 1980-2000. **Geophysical Research Letters.** 29(20).
- _____, S. Frolking and T.A. Frolking. 1992. A model of nitrous oxide by rainfall events, I, Model structure and sensitivity. **Geophys. Res.** 97: 9759-9776.
- _____, W. Salas, B. DeAngelo and S. Rose. 2006. Assessment alternatives for mitigation net greenhouse gas emissions and increasing yields from rice production in China over the next twenty years. **Environ Qual. Sci.** 35: 1554-1565.
- Li, Y.H. 1999. **Theory and Techniques of Water Saving Irrigation.** Wuhan University, China.

- Li, Y.H. and R. Barker. 2004. Increase water productivity for paddy irrigation in China. **Paddy and Water Environment**. 2(4): 187-193.
- Liou, R. M., S.N. Huang and C.W. Lin. 2003. Methane emission from fields with difference in nitrogen fertilizers and rice varieties in Taiwan paddy soils. **Chemosphere**. 50: 237-246.
- Liu, F.X. 1998. Study on classification of high yield and water saving irrigation technology of rice. **China Rural Water and Hydropower**. 3: 10-12.
- Liu, Y., Z. Yu, J. Chen, F. Zhang, R. Doluschitz and J.C. Axmacher. 2006. Changes of soil organic carbon in an intensively cultivated agricultural region: A denitrification-decomposition(DNDC) modeling approach. **Sci. Total Environ**. 372: 203–214.
- Lu, G.A., Y.H. Li, Z.Y. Sha, S.X. Cao and X.C. Liu. 2000. Impact of water saving irrigation on uptake efficiency of phosphorus nutrient by rice. **Irrigation and Drainage**. 19(4): 16-20.
- Matthews, E., I. Fung and J. Lerner. 1991. Methane emission from rice cultivation: Geographic and seasonal distribution of cultivated areas and emission. **Global Biogeochemical**. 5: 3-24.
- Mikkelsen, D.S., S.K. De Delta and W.N. Obcemea. 1978. Ammonia volatilization losses from flooded rice soils. **Soil. Sci. Soc. Amer. J.** 42: 725-730.
- Minamikawa, K and N. Sakai. 2005. The effect of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan. **Agri. Ecosyst. Environ**. 107: 397-407.
- Minamikawa, K, N. Sakai and K. Yaki. 2006. Methane emission from paddy fields and its mitigation options on a field scale. **Microbes Environ**. 21: 135-147.

- Mitra, S., R. Wassmann, MC. Jain and H. Pathak. 2002. Properties of rice soils affecting methane production potential: 2. differences in topsoil and subsoil. **Nut. Cyc. Agroecosyst.** 64: 183-191.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993. **Wetlands.** 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Moore, T.R. and M. Dalva. 1997. Methane and carbon dioxide exchange potential of peat soils in aerobic and anerobic laboratory incubations. **Soil Biol. Biochem.** 29: 1157-1164.
- Mosier A.R. 1998. Soil processes and global change. **Biol. Fert. Soils.** 27: 221–229.
- Nakasone, H. and H. Kuroda. 1999. Relationship between water quality in irrigation reservoirs and land use of the watershed, lakes & reservoirs. **Research & Management.** 4: 135-141.
- Naser H.M., O. Nagata and R. Hatano. 2007. Methane emission from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Japan. **Soil Sci. and Plant Nutr.** 53: 95–101.
- Neue, H.U. and R.L. Sass. 1998. The budget of methane from rice fields. **IGACTivities Newsletter.** 12: 3-11.
- Paul, E. A., and F. E. Clark. 1989. **Soil microbiology and biochemistry.** Academic Press, Inc., 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101-4495.
- Peng, S., K.T. Ingram, H.U. Neue and L.H. Ziska. 1995. **Climate Change and Rice.** Springer, New York.
- Peng, S.Z., S.E. Yu and H.S. Zhang. 1997. **Water Saving Irrigation Technique for Paddy.** China Rural Water and Hydropower Press. Beijing, China.

- Peng, X. 2004. **A Computation Model for the Assessment and Prediction of Salinisation in Irrigated Areas**. Ph. D. Thesis, University of New South Wales.
- Priestly, C.H.B. and R.J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameter. **Monthly Weather Rev.** 100: 81-92.
- Qiu, J.J., L.G. Wang, H.J. Tang, L. Hong and C. Li. 2005. Studies on the situation of soil organic carbon storage in croplands in northeast of China. **Agricultural Sciences in China.** 4(1): 101-105.
- Rath, A.K. B. Swain, B. Ramakrishnan, D. Panda, T.K. Adhya, V.R. Rao and N. Sethunathan. 1999. Influence of fertilization management and water regime on methane emission from rice fields. **Agric. Ecosyst. Environ.** 76: 99-107.
- Ritchie, J.T., D.C. Godwin and S. Otter-Nache. 1988. **CERES-Wheat. A Simulation Model of Wheat Growth and Development**. Texas A&W University Press, College Station, TX.
- Running, S.W. and J.C. Coughlan. 1988. A general model of forest ecosystem processes for regional application, I, Hydrologic balance, canopy gasses exchange and primary production processes. **Ecol. Modell.** 42: 125-154.
- Schutz, H., W. Seiler and R. Conrad. 1989. Process involved information and emission of methane in rice paddies. **Biogeochem.** 7: 33-53.
- Shangping, x., P.R. Jaffe and D.L. Mauzerall, 2007. A process- based model methane emission for from rice paddy system. **Ecomodel.** 5: 475-491.
- Sharma, P.K. 1989. Effect of period moisture stress on water-use efficiency in wetland rice. **Oryza.** 26: 252-257

- Shijing, W. 1996. Significance and benefit of development of water saving irrigation technology for rice in Guangxi Autonomous Region. **China Rural Water and Hydropower** 11: 6-9.
- Shimin, Z. 1992. **Trend Analysis and Modeling of Water Quality of the Kansas River and the Arkansas River**. Ph.D. Thesis, University of Kansas.
- Smith, W.N., R. L. Desjardins¹, B. Grant, C. Li, R. Lemke, P. Rochette, M.D. Corre and D. Pennock. 2002. Testing of the DNDC model using N₂O emissions at two experimental sites in Canada. **Canadian Journal of Science**.
- Sornpoon, W. 2007. **Paddy Fields in Thailand**. **JGSEE APN Training Workshop 1-3 May 2007**, Bangkok.
- Stumm, W. and J.J. Morgan. 1981. **Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters**, 2nd ed. John Wiley, New York.
- Tabuchi, T. 2001. Nitrate removal in the ponded paddy field, pp. 81–90, *In* Workshop on Efficiency of Purification Process in Riparian Buffer Zones (2001). Japan.
- Takamura, Y., T. Tabushi, S. Suzuki, T. Cho, T. Uno and H. Kubota. 1977. Study on material balance in paddy field (2). Nitrogen and phosphorus balance and drainage in ill-drained paddy fields at Tonegawa watershed. **Jpn J Soil Sci Plant Nutr**. 48: 431-436.
- Taoprayoon, S. 2007. Methodology for measurement of GHG from rice field. **JGSEE APN Training Workshop 1-3 May 2007**, Bangkok.

- Tsuruta, K., Y. Ozaki, Y. Nakajima and H. Akiyama. 1998. Development of LCA method in agricultural systems: Impact assessment of rice paddy fields on atmosphere and aquatic environments, pp.209-212. **Proceedings on the third international conference on EcoBalance**. Tsukuba, Japan.
- Tuong, T.P. and B.A.M. Bouman. 2003. Rice production in water-scarce environments. **Agric Water Manage.** 2: 13-42.
- Verma, A., R.S. Kanwar and U.S. Jim. 1995. Modification of drainage by using the nitrogen component from the GLEAMS model. **Water Resour. Manage.** 7: 237-251.
- Walter, B.P. and M. Heimann. 2000. A process-based, climate-sensitive model to derive methane emission from natural wetlands: application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate. **Global Biogeochem.** 14: 745-765.
- Wang, Z., H. Kludze, C.R. Crozier and W.H. Patrick Jr. 1995. Soil characteristics affecting methane production and emission in flooded rice, pp. 80-90. *In* S. Peng et al. (Eds.). **Climate Change and Rice**. Springer, Germany.
- Wang, Z.P., R.D. delaune, C.W. Lindau and W. H. Patrick. 1992. Methane production from anaerobic amended with rice straw and nitrogen fertilizers. **Fertilizer Res.** 33: 115-121.
- Wang, Z.P., R.D. delaune, P.H. Masscheleyn and W. H. Patrick. 1993. Soil redox and pH effect on methane production in a flooded rice soil. **Soil Sci Soc Am.** 57: 382-385.
- Wassmann, R., H.U. Neue, R.S. Lantin, L.V. Buendia and H. Rennenberg. 2000. characterization of methane emissions from rice field in Asia. **Cycling Agroecosyst.** 58: 1-12.

- Wei, Z., S. Tusong, J. Qianyu and Q. Younan. 1999. **International Symposium on Water Saving Irrigation for Paddy Field 10-14 October 1999**. CNCID, Guilin, China.
- Weining, C. 1993. **Study of the Impacts on Soil Character by Percolation from Rice Fields**. M.S. Thesis, Wuhan University of Hydraulic Engineering.
- Wetselaar, R., T. Shaw, P. Firth and J. Oupathum. 1977. **Ammonia volatilization losses from variously placed ammonium sulphate under lowland rice field condition in central Thailand**. Cited K. Kyuma. 1998. Paddy Soil Science.
- Wu, R.S., J.S. Chang and K.M. Lin. 2001. A simulation model for investigation the effects of rice paddy fields on the runoff system. **Math Comput Modeling**. 33: 649-658.
- Wu, X. 1998. **Development of water saving irrigation technique on large paddy rice area in Guangxi Region of China**.
- Xue, H.J.K. 2001. Application of DNDC model in estimation of CH₄ and N₂O emissions in agricultural ecosystems in yangtze river delta. **Pub. Med.** 22(3): 9-15.
- Yagi, K. 1997. Methane emission from paddy fields. **Agro-Environ. Sci.** 14: 96-210.
- Yagi, K. and K. Minami. 1991. Emission and production of methane in the paddy fields of Japan. **J.A.R.Q.** 25: 165-171. Cited in Peng, S. et. al. 1995.
- Yang, S.S. and H.L. Chang. 1998. Effect of environmental conditions on methane production and emission from paddy fields at difference growth stages of rice cultivation in Taiwan. **Agri. Ecisyst. Environ.** 69: 69-80.
- Yoon, C.G., J.H. Ham and J.H. jeon. 2003. Mass balance analysis in Korean paddy field culture. **Paddy Water Environ.** 1: 99-106.

- Yoshinaga, I., A. Miura, T. Hitomi, K. Hamada and E. Shiratani. 2007. Runoff nitrogen from a large sized paddy field during a crop period. **Agricultural Water Management**. 87: 217-222.
- Yu, K.W., Z.P. Wang, A. Vermoesen, W.H. Patrick Jr and O.V. Cleemput. 2001. Nitrous oxide and methane emissions from different soil suspensions: effect of soil redox status. **Biol Fertil Soils**. 34: 25-30.
- Zeigler, R.S. 2005. **PAWEES International Conference 7-8 September 2005**. International Society of Paddy and Water Environment Engineering, Kyoto University, Japan.
- Zhang, Y., C. Li, X. Zhou and B. Moore III. 2002. A simulation model linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. **Ecological Modelling**. 151: 75-108.
- Zhang, Y., L. Changsheng, T. Carl, L. Harbin and S. Ge. 2002. An integrated model of soil, hydrology, and vegetation for carbon dynamics in wetland ecosystems. **Global Biogeochem**. 16(4): 1-17.
- Zhi, M. 1993. **Principle and Technique of Water-Saving Irrigation for Rice**. Wuhan University, China.
- _____. 1997. Water saving irrigation for rice. **China Rural Water and Hydropower**. 4: 45-47.
- _____. 2001. **Water Efficient Irrigation and Environmental Sustainable Irrigated Rice in China**. Department of Irrigation and Drainage, Wuhan University, China.
- _____. and X. Zhifang. 1998. **Water Saving Irrigation Techniques for Rice**. CCTV Press, China.

- Zhi, M. and Y.L. Cui. 2001. **Irrigation Techniques of Water-Efficient and Sustainable Humper Yield for Paddy Rice: Program Report for 1997-2000.** Wuhan University, China.
- Zhou, Q. and Y. Zhu. 2003. potential pollutant and recommended critical level of phosphorus in paddy soils of southern Lake Tai area China. **Geoderma.** 115: 45-54.
- Zuang , Y. and C. Li. 2002. An integrated model of soil, hydrology, and vegetation for carbon dynamics in wetland ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles.** 16.
- Zucong, C. 2003. Options for mitigating methane mission from a permanently flooded rice field. **Global Change Biology**, Volume 9.
- Zucong, C., H. Tsuruta, M. Cao, H. Xu and C. Wei. 2002. Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. **Global Change Biology.** 9: 37-42.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลภูมิอากาศทั่วไปในสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 จังหวัดนครปฐม

Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน	Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน
พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)	พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)
1	26.9	12.3	0.0	36	27.5	9.1	0.6
2	27.2	9.4	0.0	37	24.7	13.6	0.0
3	27.2	11.1	0.0	38	28.8	14.9	0.0
4	26.7	13.3	0.4	39	29.4	12.8	0.0
5	27.1	14.8	0.0	40	29.2	13.4	0.0
6	27.2	11.2	0.0	41	30.6	12.2	0.0
7	26.1	11.4	0.0	42	30.7	11.1	0.0
8	26.7	14.6	0.0	43	23.9	12.1	1.6
9	26.5	11.4	0.0	44	27.4	14.2	0.0
10	26.6	8.5	0.0	45	29.6	12.7	0.0
11	27.4	7.0	0.0	46	29.6	10.9	0.0
12	27.0	9.5	0.1	47	26.5	11.1	0.5
13	26.7	15.6	0.0	48	26.6	13.4	0.0
14	28.1	16.1	0.0	49	28.1	11.9	0.0
15	27.4	11.7	0.0	50	26.5	13.5	0.1
16	27.8	10.1	0.0	51	27.8	14.6	0.7
17	28.2	11.2	0.0	52	18.3	15.2	0.9
18	26.3	9.6	0.0	53	21.0	14.9	0.3
19	27.2	11.4	0.0	54	24.0	15.5	0.2
20	25.7	13.0	0.0	55	24.8	14.5	0.0
21	23.9	17.0	0.0	56	25.2	15.6	0.0
22	28.2	14.5	0.0	57	27.8	12.9	0.7
23	18.8	12.7	0.4	58	26.4	15.9	0.0
24	18.8	13.9	0.0	59	28.9	15.5	0.0
25	18.2	15.4	0.4	60	30.8	13.4	0.0
26	17.6	13.6	0.0	61	31.0	14.2	0.7
27	22.7	15.3	0.0	62	30.8	18.3	0.0
28	26.7	13.6	0.0	63	28.7	16.6	0.0
29	27.3	13.5	0.0	64	28.3	15.8	0.0
30	28.7	13.7	0.0	65	22.8	17.0	0.0
31	29.2	12.0	0.0	66	23.2	15.8	0.7
32	29.0	11.6	0.0	67	18.3	15.5	0.4
33	27.6	11.5	0.0	68	16.9	14.8	0.1
34	28.2	10.5	0.0	69	27.0	15.5	0.2
35	28.6	9.7	0.0	70	28.7	15.6	0.0

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Julian day พ.ศ. 2549	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ปริมาณน้ำฝน (cm.)	Julian day พ.ศ. 2549	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ปริมาณน้ำฝน (cm.)
71	28.3	16.7	0.0	106	34.9	17.3	0.0
72	28.6	17.8	0.0	107	33.8	16.4	0.0
73	28.3	17.2	0.4	108	32.9	17.0	0.0
74	27.5	16.5	0.5	109	33.5	19.0	0.0
75	28.0	12.7	0.0	110	33.4	19.4	0.1
76	27.9	15.5	1.4	111	33.3	19.0	0.5
77	29.0	13.7	0.0	112	35.4	18.0	0.0
78	27.4	14.2	0.0	113	35.5	14.9	0.5
79	27.3	16.6	0.0	114	34.3	16.8	0.0
80	30.0	17.0	0.0	115	33.9	16.8	0.5
81	29.0	15.4	0.0	116	32.8	17.0	0.0
82	32.1	15.2	0.0	117	30.9	18.5	0.0
83	32.2	15.1	0.0	118	32.5	18.3	0.0
84	33.2	15.6	0.0	119	35.5	18.2	0.1
85	32.4	16.8	0.1	120	32.8	20.7	0.0
86	32.1	17.5	0.6	121	34.6	19.2	0.1
87	32.0	17.6	0.0	122	35.1	20.2	0.0
88	31.8	17.6	0.1	123	35.6	19.3	0.0
89	32.2	16.7	0.0	124	35.4	19.8	0.1
90	33.4	17.0	0.0	125	27.7	18.0	0.0
91	33.7	16.5	0.0	126	32.0	18.0	0.0
92	33.2	17.2	0.0	127	34.0	19.3	0.1
93	32.9	16.4	0.0	128	34.6	21.0	0.0
94	32.4	17.4	1.0	129	30.6	21.8	0.0
95	23.2	18.1	1.7	130	31.7	21.6	0.0
96	29.0	16.6	0.0	131	30.5	20.0	0.1
97	30.2	15.9	0.0	132	31.5	18.7	0.0
98	30.5	16.2	0.7	133	35.4	16.4	0.0
99	31.3	16.5	0.0	134	28.7	20.2	3.5
100	27.6	16.4	0.0	135	29.7	20.5	2.1
101	32.4	15.4	0.0	136	28.7	21.0	4.5
102	32.1	16.8	0.0	137	21.1	18.5	1.9
103	29.6	18.9	0.0	138	25.4	19.2	0.0
104	33.9	19.1	0.0	139	30.0	20.7	0.1
105	34.0	17.7	0.0	140	31.8	21.2	0.1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน	Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน
พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)	พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)
141	29.2	22.4	1.4	176	29.4	22.8	0.2
142	30.6	22.5	0.9	177	30.2	22.4	0.1
143	31.4	22.4	0.0	178	27.9	23.4	0.0
144	29.8	22.7	1.0	179	28.9	23.1	0.2
145	23.0	20.2	0.0	180	28.8	23.3	0.1
146	29.7	20.6	1.2	181	31.5	23.0	0.0
147	28.9	22.2	0.2	182	28.0	23.9	2.9
148	29.3	20.0	0.1	183	26.5	21.9	2.2
149	32.1	22.7	0.0	184	24.5	22.2	3.0
150	28.8	18.0	0.2	185	28.4	22.2	0.6
151	27.5	22.5	1.5	186	28.6	22.6	0.3
152	29.0	22.6	3.1	187	32.2	22.7	0.0
153	29.4	22.3	1.7	188	31.3	22.7	0.0
154	27.1	21.7	4.0	189	32.7	22.0	0.1
155	25.0	21.0	1.9	190	30.7	23.2	5.4
156	30.5	22.0	0.0	191	29.3	22.0	1.6
157	32.0	22.4	0.0	192	30.5	23.0	0.1
158	32.7	21.7	0.0	193	30.2	23.2	0.1
159	32.5	22.0	1.3	194	29.9	22.7	0.0
160	32.6	21.8	0.0	195	28.8	22.7	0.8
161	31.7	21.5	0.1	196	24.8	22.7	1.6
162	31.2	23.1	0.1	197	30.1	22.3	0.0
163	29.2	23.4	0.1	198	28.7	22.3	0.3
164	32.4	22.8	0.0	199	28.8	21.9	0.1
165	32.7	23.5	0.0	200	28.0	22.5	0.8
166	33.4	23.5	1.8	201	25.5	22.4	1.0
167	25.4	21.1	6.4	202	25.3	21.8	1.7
168	29.5	22.4	0.2	203	31.0	20.7	0.3
169	31.5	23.1	0.6	204	30.9	21.4	3.1
170	28.7	23.7	0.0	205	29.7	20.6	0.6
171	30.0	23.4	3.9	206	29.9	22.4	1.3
172	31.2	22.5	1.5	207	25.1	22.5	4.0
173	31.2	16.0	0.8	208	26.5	22.2	0.9
174	30.3	22.7	1.6	209	28.0	22.3	1.3
175	30.7	23.4	1.3	210	26.4	22.6	1.6

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน	Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน
พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)	พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)
211	32.3	21.7	0.0	246	30.5	22.0	1.8
212	32.6	21.9	0.0	247	30.8	20.6	0.0
213	31.6	21.6	0.0	248	31.2	22.4	0.0
214	29.6	22.9	0.9	249	31.6	22.0	0.0
215	31.8	22.7	0.0	250	32.2	22.0	0.0
216	33.3	23.0	0.1	251	31.2	22.8	0.0
217	33.9	22.4	0.4	252	28.8	20.7	2.3
218	32.2	21.8	0.7	253	30.3	20.7	0.0
219	31.8	22.4	0.0	254	31.6	22.0	0.1
220	32.1	22.7	0.0	255	32.5	22.6	0.4
221	31.8	23.0	2.2	256	30.3	23.3	5.9
222	30.3	21.1	1.5	257	27.4	20.8	1.5
223	30.2	21.5	1.0	258	28.6	21.7	0.4
224	27.8	22.1	1.3	259	29.5	21.6	0.0
225	29.2	22.4	0.0	260	29.0	20.9	0.1
226	31.4	21.9	4.0	261	31.2	17.2	0.0
227	30.3	21.6	0.0	262	31.4	17.8	0.0
228	32.4	20.9	0.0	263	30.5	18.6	0.3
229	33.9	22.0	1.3	264	28.8	20.8	4.3
230	33.4	20.7	0.0	265	30.2	21.7	0.0
231	30.5	23.0	0.2	266	30.7	21.9	0.0
232	32.3	21.7	0.0	267	28.4	21.9	0.4
233	32.6	22.8	1.1	268	30.2	21.3	0.9
234	32.8	20.7	0.0	269	28.4	21.3	0.2
235	33.7	23.6	0.0	270	31.7	21.5	0.0
236	25.9	22.4	6.1	271	30.9	22.0	0.0
237	27.6	22.9	3.7	272	28.7	21.4	0.9
238	31.0	22.2	0.0	273	29.7	20.6	0.4
239	31.0	21.7	0.0	274	28.5	21.0	0.1
240	31.2	22.0	0.0	275	30.3	21.0	0.0
241	33.0	23.5	0.0	276	30.7	20.4	0.0
242	30.4	22.5	0.0	277	30.6	20.2	0.0
243	30.0	22.3	0.2	278	28.2	20.9	0.0
244	31.4	22.1	8.2	279	28.2	21.6	0.2
245	30.5	21.5	0.0	280	28.2	21.5	0.1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน	Julian day	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน
พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)	พ.ศ. 2549	(°C)	(°C)	(cm.)
351	26.4	11.9	0.0	359	24.0	15.8	0.0
352	26.4	11.8	0.0	360	24.5	14.3	0.0
353	26.6	13.3	0.0	361	25.3	14.6	0.0
354	27.2	15.6	0.0	362	25.3	13.1	0.0
355	25.9	13.7	0.0	363	25.2	12.4	0.0
356	26.5	15.6	1.4	364	25.9	13.3	0.0
357	22.4	17.2	0.5	365	25.9	12.0	0.0
358	24.6	17.0	0.0				

ตารางผนวกที่ 2 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข SS การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
10	2		2			2
11	3		0.1			0.1
12	4		0			0
13	5		0.1			0.1
14	6		4			4
15	7		5			5
16	8		0			0
17	9		14			14
18	10		0			0
19	11		0.1			0.1
20	12		0			0
21	13		0.2			0.2
22	14		0			0
23	15		0			0
24	16		0			0
25	17		0			0
26	18		0.5			0.5
27	19		6			6
28	20	100	0	92.4	118	
29	21	92.4	1	85.8		
30	22	85.8	0	78.2		
31	23	78.2	0	70.6		
1 มี.ย. 49	24	70.6	0.1	63.3		
2	25	63.3	0	55.9		
3	26	55.9	0	48.5		
4	27	100	9.9	102.5	51.5	
5	28	102.5	17.3	112.6		
6	29	112.6	0	105		
7	30	105	0	97.4		
8	31	97.4	7	96		
9	32	96	0	87.4		
10	33	87.4	0	78.9		
11	34	78.9	0	70.4		
12	35	70.4	0	61.9		
13	36	61.9	0	53.5		
14	37	100	0	91.4	46.5	
15	38	91.4	0	82.8		
16	39	82.8	0	74.3		
17	40	74.3	0	65.8		

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	65.8	0	57.3		
19	42	57.3	0	48.9		
20	43	100	0.9	92.5	51.1	
21	44	92.5	5	89.2		
22	45	89.2	0	80.6		
23	46	80.6	5	77.3		
24	47	77.3	0	68.8		
25	48	68.8	5	65.6		
26	49	65.6	0	57.2		
27	50	57.2	0	48.8		
28	51	100	0	91.4	51.2	
29	52	91.4	1	83.9		
30	53	83.9	0	75.3		
1 พ.ค. 49	54	75.3	1	67.9		
2	55	67.9	0	59.4		
3	56	59.4	0	51		
4	57	100	1	92.6	49	
5	58	92.6	0	84		
6	59	84	0	75.5		
7	60	75.5	1	68		
8	61	68	0	58.5		
9	62	58.5	0	49.1		
10	63	100	0	90.4	50.9	
11	64	90.4	0.5	81.5		
12	65	81.5	0	72		
13	66	72	0	62.5		
14	67	62.5	35	88.9		
15	68	88.9	21	100.5		
16	69	100.5	45	137		37
17	70	100	19	109.9		
18	71	109.9	0	100.3		
19	72	100.3	1	91.8		
20	73	91.8	1	83.4		
21	74	83.4	14	88.5		
22	75	88.5	9	88.5		
23	76	88.5	0.3	79.3		
24	77	79.3	9.5	79.7		
25	78	79.7	0.3	70.6		
26	79	70.6	12	73.5		
27	80	73.5	2	66.1		

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	66.1	0.6	57.2		
29	82	57.2	0.3	48.1		
30	83	100	2.4	93	51.9	
31	84	93	15	98.8		
1 มิ.ย. 49	85	98.8	31	121		21
2	86	100	17	107.7		
3	87	107.7	40	139.3		39.3
4	88	100	19	110.2		
5	89	110.2	0	100.6		
6	90	100.6	0	91		
7	91	91	0	81.9		
8	92	81.9	13	86		
9	93	86	0	76.9		
10	94	76.9	0.7	68.7		
11	95	68.7	0.5	60.3		
12	96	60.3	1	52.4		
13	97	100	0	90.9	47.6	
14	98	90.9	0	81.8		
15	99	81.8	18	91		
16	100	91	64	146.2		46.2
17	101	100	2	93		
18	102	93	6	90.1		
19	103	90.1	0	81		
20	104	81	39.1			120.1
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		517.7	515.9

ตารางผนวกที่ 3 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข SS การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระเหย
9 มี.ค. 49	1		0.8			
10	2		2			
11	3		0.1			
12	4		0			
13	5		0.1			
14	6		4			
15	7		5			
16	8		0			
17	9		14			
18	10		0			
19	11		0.1			
20	12		0			
21	13		0.2			
22	14		0			
23	15		0			
24	16		0			
25	17		0			
26	18		0.5			
27	19		6			32.8
28	20	100	0	92.5	117	
29	21	92.5	1	86		
30	22	86	0	78.5		
31	23	78.5	0	71		
1เม.ย. 49	24	71	0.1	63.6		
2	25	63.6	0	56.3		
3	26	56.3	0	49		
4	27	100	9.9	102.5	51	
5	28	102.5	17.3	112.7		
6	29	112.7	0	105.2		
7	30	105.2	0	97.6		
8	31	97.6	7	96.4		
9	32	96.4	0	87.8		
10	33	87.8	0	79.4		
11	34	79.4	0	70.8		
12	35	70.8	0	62.4		
13	36	62.4	0	54		
14	37	100	0	91.5	46	
15	38	91.5	0	82.9		
16	39	82.9	0	74.4		
17	40	74.4	0	65.9		

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	65.9	0	57.3		
19	42	57.3	0	48.9		
20	43	100	0.9	92.5	51.1	
21	44	92.5	5	89.2		
22	45	89.2	0	80.6		
23	46	80.6	5	77.3		
24	47	77.3	0	68.8		
25	48	68.8	5	65.6		
26	49	65.6	0	57.2		
27	50	57.2	0	49		
28	51	100	0	91.6	51	
29	52	91.6	1	84.1		
30	53	84.1	0	75.5		
1 พ.ค. 49	54	75.5	1	68.2		
2	55	68.2	0	59.8		
3	56	59.8	0	51.4		
4	57	100	1	92.5	48.6	
5	58	92.5	0	83.9		
6	59	83.9	0	75.4		
7	60	75.4	1	67.9		
8	61	67.9	0	58.7		
9	62	58.7	0	49.3		
10	63	100	0	90.3	50.7	
11	64	90.3	0.5	81.4		
12	65	81.4	0	71.9		
13	66	71.9	0	62.5		
14	67	62.5	35	88.9		
15	68	88.9	21	100.5		
16	69	100.5	45	137		37
17	70	100	19	110		
18	71	110	0	100.5		
19	72	100.5	1	92.2		
20	73	92.2	1	83.8		
21	74	83.8	14	88.9		
22	75	88.9	9	88.9		
23	76	88.9	0.3	79.7		
24	77	79.7	9.5	80.1		
25	78	80.1	0.3	71		
26	79	71	12	73.9		
27	80	73.9	2	66.5		

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	66.5	0.6	57.7		
29	82	57.7	0.3	48.6		
30	83	100	2.4	93.1	51.4	
31	84	93.1	15	98.8		
1 มิ.ย. 49	85	98.8	31	120.9		20.9
2	86	100	17	107.7		
3	87	107.7	40	139.3		39.3
4	88	100	19	110.3		
5	89	110.3	0	100.8		
6	90	100.8	0	91.4		
7	91	91.4	0	82.3		
8	92	82.3	13	86.3		
9	93	86.3	0	77.2		
10	94	77.2	0.7	68.9		
11	95	68.9	0.5	60.5		
12	96	60.5	1	52.6		
13	97	100	0	90.8	47.4	
14	98	90.8	0	81.7		
15	99	81.7	18	90.9		
16	100	90.9	64	146		46
17	101	100	2	93		
18	102	93	6	90.1		
19	103	90.1	0	81		
20	104	81	39.1			120.1
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		514.2	515.6

ตารางผนวกที่ 4 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข SS การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
9 มี.ค. 49	1		0.8			
10	2		2			
11	3		0.1			
12	4		0			
13	5		0.1			
14	6		4			
15	7		5			
16	8		0			
17	9		14			
18	10		0			
19	11		0.1			
20	12		0			
21	13		0.2			
22	14		0			
23	15		0			
24	16		0			
25	17		0			
26	18		0.5			
27	19		6			32.8
28	20	100	0	92.3	118	
29	21	92.3	1	85.7		
30	22	85.7	0	78.2		
31	23	78.2	0	70.8		
1เม.ย. 49	24	70.8	0.1	63.4		
2	25	63.4	0	55.8		
3	26	55.8	0	48.4		
4	27	100	9.9	102.6	51.6	
5	28	102.6	17.3	112.7		
6	29	112.7	0	105		
7	30	105	0	97.6		
8	31	97.6	7	96.2		
9	32	96.2	0	87.8		
10	33	87.8	0	79.3		
11	34	79.3	0	71		
12	35	71	0	62.5		
13	36	62.5	0	54.3		
14	37	100	0	91.6	45.7	
15	38	91.6	0	83		
16	39	83	0	74.5		
17	40	74.5	0	66.2		

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	66.2	0	57.7		
19	42	57.7	0	49.3		
20	43	100	0.9	92.4	50.7	
21	44	92.4	5	89.1		
22	45	89.1	0	80.6		
23	46	80.6	5	77.3		
24	47	77.3	0	68.8		
25	48	68.8	5	65.6		
26	49	65.6	0	57.2		
27	50	57.2	0	48.8		
28	51	100	0	91.7	51.2	
29	52	91.7	1	84.2		
30	53	84.2	0	75.6		
1 พ.ค. 49	54	75.6	1	68.2		
2	55	68.2	0	59.7		
3	56	59.7	0	51.3		
4	57	100	1	92.7	48.7	
5	58	92.7	0	84.1		
6	59	84.1	0	75.6		
7	60	75.6	1	68.1		
8	61	68.1	0	58.6		
9	62	58.6	0	49.2		
10	63	100	0	90.3	50.8	
11	64	90.3	0.5	81.4		
12	65	81.4	0	71.9		
13	66	71.9	0	62.4		
14	67	62.4	35	88.8		
15	68	88.8	21	100.4		
16	69	100.4	45	136.9		36.9
17	70	100	19	109.8		
18	71	109.8	0	100.2		
19	72	100.2	1	91.7		
20	73	91.7	1	83.3		
21	74	83.3	14	88.4		
22	75	88.4	9	88.4		
23	76	88.4	0.3	79.2		
24	77	79.2	9.5	79.6		
25	78	79.6	0.3	70.5		
26	79	70.5	12	73.4		
27	80	73.4	2	66		

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	66	0.6	57.1		
29	82	57.1	0.3	48		
30	83	100	2.4	93.1	52	
31	84	93.1	15	98.9		
1 มิ.ย. 49	85	98.9	31	121.1		21.1
2	86	100	17	107.7		
3	87	107.7	40	139.3		39.3
4	88	100	19	110.2		
5	89	110.2	0	100.6		
6	90	100.6	0	91.2		
7	91	91.2	0	82.1		
8	92	82.1	13	86.2		
9	93	86.2	0	77.1		
10	94	77.1	0.7	68.9		
11	95	68.9	0.5	60.8		
12	96	60.8	1	52.9		
13	97	100	0	90.9	47.1	
14	98	90.9	0	81.8		
15	99	81.8	18	91.1		
16	100	91.1	64	146.3		46.3
17	101	100	2	93		
18	102	93	6	90.1		
19	103	90.1	0	81		
20	104	81	39.1			120.1
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		515.8	516

ตารางผนวกที่ 5 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เกือบไข SA การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10	2	2			2
	11	3	0.1			0.1
	12	4	0			0
	13	5	0.1			0.1
	14	6	4			4
	15	7	5			5
	16	8	0			0
	17	9	14			14
	18	10	0			0
	19	11	0.1			0.1
	20	12	0			0
	21	13	0.2			0.2
	22	14	0			0
	23	15	0			0
	24	16	0			0
	25	17	0			0
	26	18	0.5			0.5
	27	19	6			6
	28	20	100	92.4	118	
	29	21	92.4	1	85.8	
	30	22	85.8	0	78.2	
	31	23	78.2	0	70.6	
1 เม.ย. 49	24	70.6	0.1	63.3		
	2	25	63.3	0	55.9	
	3	26	55.9	0	48.5	
	4	27	100	9.9	102.5	51.5
	5	28	102.5	17.3	112.6	
	6	29	112.6	0	105	
	7	30	105	0	97.4	
	8	31	97.4	7	96	
	9	32	96	0	87.4	
	10	33	87.4	0	78.9	
	11	34	78.9	0	70.4	
	12	35	70.4	0	61.9	
	13	36	61.9	0	53.5	
	14	37	100	0	91.4	46.5
	15	38	91.4	0	82.8	
	16	39	82.8	0	74.3	
	17	40	74.3	0	65.8	

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	65.8	0	57.3		
19	42	57.3	0	48.9		
20	43	100	0.9	92.5	51.1	
21	44	92.5	5	89.2		
22	45	89.2	0	80.6		
23	46	80.6	5	77.3		
24	47	77.3	0	68.8		
25	48	68.8	5	65.6		
26	49	65.6	0	57.2		
27	50	57.2	0	48.6		
28	51	48.6	0	40.3		
29	52	40.3	1	33.1		
30	53	33.1	0	25		
1 พ.ค. 49	54	25	1	18.1		
2	55	18.1	0	10.1		
3	56	10.1	0	2.2		
4	57	2.2	1	-4.4		
5	58	-4.4	0	-12.1		
6	59	-12.1	0	-19.3		
7	60	-19.3	1	-25.2		
8	61	-25.2	0	-32.9		
9	62	-32.9	0	-40.4		
10	63	-40.4	0	-47.7		
11	64	50	0.5	41.4	58.6	
12	65	41.4	0	32.2		
13	66	32.2	0	23.1		
14	67	23.1	35	49.8		
15	68	49.8	21	61.7		
16	69	61.7	45	98.5		48.5
17	70	50	19	60.2		
18	71	60.2	0	50.9		
19	72	50.9	1	42.7		
20	73	42.7	1	34.7		
21	74	34.7	14	40.1		
22	75	40.1	9	40.3		
23	76	40.3	0.3	31.3		
24	77	31.3	9.5	32		
25	78	32	0.3	23.2		
26	79	23.2	12	26.5		
27	80	26.5	2	19.4		

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	19.4	0.6	10.9		
29	82	10.9	0.3	2.2		
30	83	2.2	2.4	-4.1		
31	84	-4.1	15	2.5		
1 มิ.ย. 49	85	2.5	31	25.4		
2	86	25.4	17	33.5		
3	87	33.5	40	65.4		
4	88	65.4	19	75.8		25.8
5	89	50	0	40.6		
6	90	40.6	0	31.3		
7	91	31.3	0	22.6		
8	92	22.6	13	27.1		
9	93	27.1	0	18.4		
10	94	18.4	0.7	10.6		
11	95	10.6	0.5	2.7		
12	96	2.7	1	-4.7		
13	97	-4.7	0	-13		
14	98	-13	0	-20.8		
15	99	-20.8	18	-10.1		
16	100	-10.1	64	46.9		
17	101	46.9	2	40.1		
18	102	40.1	6	37.5		
19	103	37.5	0	28.7		
20	104	28.7	39.1			67.8
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		325.7	394.4

ตารางผนวกที่ 6 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เกือบไข SA การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10		2			2
	11		0.1			0.1
	12		0			0
	13		0.1			0.1
	14		4			4
	15		5			5
	16		0			0
	17		14			14
	18		0			0
	19		0.1			0.1
	20		0			0
	21		0.2			0.2
	22		0			0
	23		0			0
	24		0			0
	25		0			0
	26		0.5			0.5
	27		6			6
	28	100	0	92.5	117	
	29	92.5	1	86.1		
	30	86.1	0	78.6		
	31	78.6	0	71.3		
1 มี.ย. 49	24	71.3	0.1	64		
	2	64	0	56.6		
	3	56.6	0	49.2		
	4	100	9.9	102.7	50.8	
	5	102.7	17.3	112.8		
	6	112.8	0	105.2		
	7	105.2	0	97.6		
	8	97.6	7	96.2		
	9	96.2	0	87.6		
	10	87.6	0	79.1		
	11	79.1	0	70.6		
	12	70.6	0	62.1		
	13	62.1	0	53.7		
	14	100	0	91.5	46.3	
	15	91.5	0	82.9		
	16	82.9	0	74.4		
	17	74.4	0	65.9		

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	65.9	0	57.5		
19	42	57.5	0	49.1		
20	43	100	0.9	92.6	50.9	
21	44	92.6	5	89.2		
22	45	89.2	0	80.6		
23	46	80.6	5	77.4		
24	47	77.4	0	68.9		
25	48	68.9	5	65.7		
26	49	65.7	0	57.3		
27	50	57.3	0	48.8		
28	51	48.8	0	40.5		
29	52	40.5	1	33.4		
30	53	33.4	0	25.3		
1 พ.ค. 49	54	25.3	1	18.4		
2	55	18.4	0	10.4		
3	56	10.4	0	2.5		
4	57	2.5	1	-4		
5	58	-4	0	-11.7		
6	59	-11.7	0	-19		
7	60	-19	1	-24.9		
8	61	-24.9	0	-32.5		
9	62	-32.5	0	-40		
10	63	-40	0	-47.3		
11	64	50	0.5	41.6	58.5	
12	65	41.6	0	32.4		
13	66	32.4	0	23.3		
14	67	23.3	35	50		
15	68	50	21	61.9		
16	69	61.9	45	98.7		48.7
17	70	50	19	60.1		
18	71	60.1	0	50.8		
19	72	50.8	1	42.6		
20	73	42.6	1	34.6		
21	74	34.6	14	40		
22	75	40	9	40.2		
23	76	40.2	0.3	31.3		
24	77	31.3	9.5	32		
25	78	32	0.3	23.2		
26	79	23.2	12	26.5		
27	80	26.5	2	19.4		

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	19.4	0.6	10.9		
29	82	10.9	0.3	2.2		
30	83	2.2	2.4	-4.1		
31	84	-4.1	15	2.5		
1 มิ.ย. 49	85	2.5	31	25.4		
2	86	25.4	17	33.5		
3	87	33.5	40	65.4		
4	88	65.4	19	75.8		25.8
5	89	50	0	40.8		
6	90	40.8	0	31.5		
7	91	31.5	0	22.8		
8	92	22.8	13	27.3		
9	93	27.3	0	18.6		
10	94	18.6	0.7	10.8		
11	95	10.8	0.5	2.9		
12	96	2.9	1	-4.5		
13	97	-4.5	0	-12.8		
14	98	-12.8	0	-20.6		
15	99	-20.6	18	-9.9		
16	100	-9.9	64	47.1		
17	101	47.1	2	40.4		
18	102	40.4	6	37.8		
19	103	37.8	0	29		
20	104	29	39.1			68.1
21	105		15	15		15
22	106		8	8		8
23	107		16	16		16
24	108		13.1	13.1		13.1
25	109		2	2		2
26	110		1	1		1
27	111		0.4	0.4		0.4
28	112		2	2		2
29	113		1	1		1
30	114		0	0		0
1 ก.ค. 49	115		29	29		29
2	116		22	22		22
3	117		30	30		30
4	118		6	6		6
5	119		3	3		3
6	120		0	0		0
7	121		0	0		0
8	122		1	1		1
9	123		54	54		54
10 ก.ค. 49	124		16	16		16
	sum		746.7		323.5	394.9

ตารางผนวกที่ 7 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เกือบไข SA การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10		2			2
	11		0.1			0.1
	12		0			0
	13		0.1			0.1
	14		4			4
	15		5			5
	16		0			0
	17		14			14
	18		0			0
	19		0.1			0.1
	20		0			0
	21		0.2			0.2
	22		0			0
	23		0			0
	24		0			0
	25		0			0
	26		0.5			0.5
	27		6			6
	28	100	0	92.7	118	
	29	92.7	1	86.3		
	30	86.3	0	79.1		
	31	79.1	0	71.8		
1 มี.ย. 49	24	71.8	0.1	64.5		
	2	64.5	0	57.1		
	3	57.1	0	49.7		
	4	100	9.9	102.8	50.3	
	5	102.8	17.3	113		
	6	113	0	105.4		
	7	105.4	0	97.8		
	8	97.8	7	96.5		
	9	96.5	0	88.1		
	10	88.1	0	79.8		
	11	79.8	0	71.3		
	12	71.3	0	62.8		
	13	62.8	0	54.4		
	14	100	0	91.6	45.6	
	15	91.6	0	83		
	16	83	0	74.5		
	17	74.5	0	66		

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	66	0	57.6		
19	42	57.6	0	49.2		
20	43	100	0.9	92.5	50.8	
21	44	92.5	5	89.1		
22	45	89.1	0	80.5		
23	46	80.5	5	77.2		
24	47	77.2	0	68.7		
25	48	68.7	5	65.5		
26	49	65.5	0	57.1		
27	50	57.1	0	48.8		
28	51	48.8	0	40.5		
29	52	40.5	1	33.4		
30	53	33.4	0	25.3		
1 พ.ค. 49	54	25.3	1	18.4		
2	55	18.4	0	10.4		
3	56	10.4	0	2.5		
4	57	2.5	1	-4		
5	58	-4	0	-11.5		
6	59	-11.5	0	-18.8		
7	60	-18.8	1	-24.6		
8	61	-24.6	0	-32.2		
9	62	-32.2	0	-39.7		
10	63	-39.7	0	-47		
11	64	50	0.5	41.8	58.4	
12	65	41.8	0	32.6		
13	66	32.6	0	23.5		
14	67	23.5	35	50.2		
15	68	50.2	21	62.1		
16	69	62.1	45	98.9		48.9
17	70	50	19	60.2		
18	71	60.2	0	50.9		
19	72	50.9	1	42.9		
20	73	42.9	1	34.9		
21	74	34.9	14	40.3		
22	75	40.3	9	40.5		
23	76	40.5	0.3	31.6		
24	77	31.6	9.5	32.3		
25	78	32.3	0.3	23.5		
26	79	23.5	12	26.8		
27	80	26.8	2	19.6		

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	19.6	0.6	11.1		
29	82	11.1	0.3	2.4		
30	83	2.4	2.4	-3.9		
31	84	-3.9	15	2.7		
1 มิ.ย. 49	85	2.7	31	25.6		
2	86	25.6	17	33.7		
3	87	33.7	40	65.6		
4	88	65.6	19	76		26
5	89	50	0	40.9		
6	90	40.9	0	31.7		
7	91	31.7	0	23		
8	92	23	13	27.5		
9	93	27.5	0	18.8		
10	94	18.8	0.7	11		
11	95	11	0.5	3.1		
12	96	3.1	1	-4.3		
13	97	-4.3	0	-12.6		
14	98	-12.6	0	-20.4		
15	99	-20.4	18	-9.7		
16	100	-9.7	64	47.3		
17	101	47.3	2	40.6		
18	102	40.6	6	38		
19	103	38	0	29.2		
20	104	29.2	39.1			68.3
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		323.1	395.5

ตารางผนวกที่ 8 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เกือบไข AS การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10		2			2
	11		0.1			0.1
	12		0			0
	13		0.1			0.1
	14		4			4
	15		5			5
	16		0			0
	17		14			14
	18		0			0
	19		0.1			0.1
	20		0			0
	21		0.2			0.2
	22		0			0
	23		0			0
	24		0			0
	25		0			0
	26		0.5			0.5
	27		6			6
	28	50	0	42.6	68	
	29	42.6	1	36.4		
	30	36.4	0	29.2		
	31	29.2	0	22		
1 เม.ย. 49	24	22	0.1	15.1		
	2	15.1	0	8.1		
	3	8.1	0	1.3		
	4	1.3	9.9	4.6		
	5	4.6	17.3	15.5		
	6	15.5	0	8.6		
	7	8.6	0	1.7		
	8	1.7	7	1.2		
	9	1.2	0	-6.5		
	10	-6.5	0	-14		
	11	-14	0	-21.2		
	12	-21.2	0	-28.1		
	13	-28.1	0	-34.8		
	14	-34.8	0	-41.3		
	15	-41.3	0	-47.6		
	16	50	0	41.7	58.7	
	17	41.7	0	33.5		

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	33.5	0	25.3		
19	42	25.3	0	17.2		
20	43	17.2	0.9	10.3		
21	44	10.3	5	7.7		
22	45	7.7	0	-0.2		
23	46	-0.2	5	-2.7		
24	47	-2.7	0	-9.9		
25	48	-9.9	5	-11.5		
26	49	-11.5	0	-18.2		
27	50	-18.2	0	-24.8		
28	51	100	0	91.4	104.4	
29	52	91.4	1	83.9		
30	53	83.9	0	75.3		
1 พ.ค. 49	54	75.3	1	67.9		
2	55	67.9	0	59.4		
3	56	59.4	0	51		
4	57	100	1	92.6	49	
5	58	92.6	0	84		
6	59	84	0	75.5		
7	60	75.5	1	68		
8	61	68	0	58.5		
9	62	58.5	0	49.1		
10	63	100	0	90.4	50.9	
11	64	90.4	0.5	81.5		
12	65	81.5	0	72		
13	66	72	0	62.5		
14	67	62.5	35	88.9		
15	68	88.9	21	100.5		
16	69	100.5	45	137		37
17	70	100	19	109.9		
18	71	109.9	0	100.3		
19	72	100.3	1	91.8		
20	73	91.8	1	83.4		
21	74	83.4	14	88.5		
22	75	88.5	9	88.5		
23	76	88.5	0.3	79.3		
24	77	79.3	9.5	79.7		
25	78	79.7	0.3	70.6		
26	79	70.6	12	73.5		
27	80	73.5	2	66.1		

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	66.1	0.6	57.2		
29	82	57.2	0.3	48.1		
30	83	100	2.4	93	51.9	
31	84	93	15	98.8		
1 มิ.ย. 49	85	98.8	31	121		21
2	86	100	17	107.7		
3	87	107.7	40	139.3		39.3
4	88	100	19	110.2		
5	89	110.2	0	100.6		
6	90	100.6	0	91		
7	91	91	0	81.9		
8	92	81.9	13	86		
9	93	86	0	76.9		
10	94	76.9	0.7	68.7		
11	95	68.7	0.5	60.3		
12	96	60.3	1	52.4		
13	97	100	0	90.9	47.6	
14	98	90.9	0	81.8		
15	99	81.8	18	91		
16	100	91	64	146.2		46.2
17	101	100	2	93		
18	102	93	6	90.1		
19	103	90.1	0	81		
20	104	81	39.1			120.1
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		430.5	515.9

ตารางผนวกที่ 9 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข AS การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10		2			2
	11		0.1			0.1
	12		0			0
	13		0.1			0.1
	14		4			4
	15		5			5
	16		0			0
	17		14			14
	18		0			0
	19		0.1			0.1
	20		0			0
	21		0.2			0.2
	22		0			0
	23		0			0
	24		0			0
	25		0			0
	26		0.5			0.5
	27		6			6
	28	20	50	0	42.7	67
	29	21	42.7	1	36.7	
	30	22	36.7	0	29.6	
	31	23	29.6	0	22.6	
1เม.ย. 49	24	22.6	0.1	15.6		
	2	25	15.6	0	8.6	
	3	26	8.6	0	1.8	
	4	27	1.8	9.9	5.2	
	5	28	5.2	17.3	16.1	
	6	29	16.1	0	9.2	
	7	30	9.2	0	2.3	
	8	31	2.3	7	1.8	
	9	32	1.8	0	-5.9	
	10	33	-5.9	0	-13.4	
	11	34	-13.4	0	-20.6	
	12	35	-20.6	0	-27.5	
	13	36	-27.5	0	-34.1	
	14	37	-34.1	0	-40.6	
	15	38	-40.6	0	-46.8	
	16	39	50	0	41.8	58.3
	17	40	41.8	0	33.6	

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	33.6	0	25.3		
19	42	25.3	0	17.2		
20	43	17.2	0.9	10.3		
21	44	10.3	5	7.7		
22	45	7.7	0	-0.2		
23	46	-0.2	5	-2.5		
24	47	-2.5	0	-9.7		
25	48	-9.7	5	-11.3		
26	49	-11.3	0	-18		
27	50	-18	0	-24.6		
28	51	100	0	91.6	104.5	
29	52	91.6	1	84.1		
30	53	84.1	0	75.6		
1 พ.ค. 49	54	75.6	1	68.2		
2	55	68.2	0	59.9		
3	56	59.9	0	51.5		
4	57	100	1	92.8	48.5	
5	58	92.8	0	84.2		
6	59	84.2	0	75.7		
7	60	75.7	1	68.2		
8	61	68.2	0	58.7		
9	62	58.7	0	49.3		
10	63	100	0	90.4	50.7	
11	64	90.4	0.5	81.7		
12	65	81.7	0	72.2		
13	66	72.2	0	62.7		
14	67	62.7	35	89.1		
15	68	89.1	21	100.8		
16	69	100.8	45	137.5		37.5
17	70	100	19	110		
18	71	110	0	100.4		
19	72	100.4	1	91.9		
20	73	91.9	1	83.6		
21	74	83.6	14	88.7		
22	75	88.7	9	88.7		
23	76	88.7	0.3	79.5		
24	77	79.5	9.5	80.1		
25	78	80.1	0.3	71		
26	79	71	12	73.9		
27	80	73.9	2	66.6		

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	66.6	0.6	57.7		
29	82	57.7	0.3	48.6		
30	83	100	2.4	93.1	51.4	
31	84	93.1	15	98.9		
1 มิ.ย. 49	85	98.9	31	121.1		21.1
2	86	100	17	107.7		
3	87	107.7	40	139.4		39.4
4	88	100	19	110.4		
5	89	110.4	0	100.8		
6	90	100.8	0	91.4		
7	91	91.4	0	82.3		
8	92	82.3	13	86.4		
9	93	86.4	0	77.3		
10	94	77.3	0.7	69.1		
11	95	69.1	0.5	60.9		
12	96	60.9	1	53		
13	97	100	0	90.9	47	
14	98	90.9	0	82		
15	99	82	18	91.2		
16	100	91.2	64	146.4		46.4
17	101	100	2	93		
18	102	93	6	90.1		
19	103	90.1	0	81		
20	104	81	39.1			120.1
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		427.4	516.8

ตารางผนวกที่ 10 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข AS การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
10	2		2			2
11	3		0.1			0.1
12	4		0			0
13	5		0.1			0.1
14	6		4			4
15	7		5			5
16	8		0			0
17	9		14			14
18	10		0			0
19	11		0.1			0.1
20	12		0			0
21	13		0.2			0.2
22	14		0			0
23	15		0			0
24	16		0			0
25	17		0			0
26	18		0.5			0.5
27	19		6			6
28	20	50	0	42.8	65	
29	21	42.8	1	36.6		
30	22	36.6	0	29.6		
31	23	29.6	0	22.4		
11 มี.ช. 49	24	22.4	0.1	15.5		
2	25	15.5	0	8.5		
3	26	8.5	0	1.7		
4	27	1.7	9.9	5		
5	28	5	17.3	16		
6	29	16	0	9.1		
7	30	9.1	0	2.2		
8	31	2.2	7	1.8		
9	32	1.8	0	-5.9		
10	33	-5.9	0	-13.4		
11	34	-13.4	0	-20.4		
12	35	-20.4	0	-27.3		
13	36	-27.3	0	-33.9		
14	37	-33.9	0	-40.4		
15	38	-40.4	0	-46.7		
16	39	50	0	41.9	58.4	
17	40	41.9	0	33.7		

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	33.7	0	25.7		
19	42	25.7	0	17.6		
20	43	17.6	0.9	10.7		
21	44	10.7	5	8.1		
22	45	8.1	0	0.2		
23	46	0.2	5	-2.1		
24	47	-2.1	0	-9.3		
25	48	-9.3	5	-10.9		
26	49	-10.9	0	-17.5		
27	50	-17.5	0	-23.9		
28	51	100	0	91.5	104.2	
29	52	91.5	1	84.2		
30	53	84.2	0	75.6		
1 พ.ค. 49	54	75.6	1	68.4		
2	55	68.4	0	59.9		
3	56	59.9	0	51.6		
4	57	100	1	92.8	48.4	
5	58	92.8	0	84.3		
6	59	84.3	0	76		
7	60	76	1	68.5		
8	61	68.5	0	58.9		
9	62	58.9	0	49.5		
10	63	100	0	90.6	50.5	
11	64	90.6	0.5	81.7		
12	65	81.7	0	72.4		
13	66	72.4	0	62.9		
14	67	62.9	35	89.3		
15	68	89.3	21	101		
16	69	101	45	137.5		37.5
17	70	100	19	109.8		
18	71	109.8	0	100.2		
19	72	100.2	1	91.8		
20	73	91.8	1	83.6		
21	74	83.6	14	88.7		
22	75	88.7	9	88.9		
23	76	88.9	0.3	79.7		
24	77	79.7	9.5	80.1		
25	78	80.1	0.3	71		
26	79	71	12	73.9		
27	80	73.9	2	66.5		

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	66.5	0.6	57.5		
29	82	57.5	0.3	48.5		
30	83	100	2.4	93.1	51.5	
31	84	93.1	15	98.9		
1 มิ.ย. 49	85	98.9	31	121.4		21.4
2	86	100	17	107.7		
3	87	107.7	40	139.5		39.5
4	88	100	19	110.2		
5	89	110.2	0	100.8		
6	90	100.8	0	91.3		
7	91	91.3	0	82.4		
8	92	82.4	13	86.5		
9	93	86.5	0	77.3		
10	94	77.3	0.7	69.1		
11	95	69.1	0.5	60.9		
12	96	60.9	1	53		
13	97	100	0	91	47	
14	98	91	0	82		
15	99	82	18	91.2		
16	100	91.2	64	146.6		46.6
17	101	100	2	93		
18	102	93	6	90.4		
19	103	90.4	0	81.3		
20	104	81.3	39.1			120.4
21	105		15			
22	106		8			
23	107		16			
24	108		13.1			
25	109		2			
26	110		1			
27	111		0.4			
28	112		2			
29	113		1			
30	114		0			
1 ก.ค. 49	115		29			
2	116		22			
3	117		30			
4	118		6			
5	119		3			
6	120		0			
7	121		0			
8	122		1			
9	123		54			
10 ก.ค. 49	124		16			258.6
	sum		746.7		425	517.7

ตารางผนวกที่ 11 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข AA การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
10	2		2			2
11	3		0.1			0.1
12	4		0			0
13	5		0.1			0.1
14	6		4			4
15	7		5			5
16	8		0			0
17	9		14			14
18	10		0			0
19	11		0.1			0.1
20	12		0			0
21	13		0.2			0.2
22	14		0			0
23	15		0			0
24	16		0			0
25	17		0			0
26	18		0.5			0.5
27	19		6			6
28	20	50	0	42.6	68	
29	21	42.6	1	36.4		
30	22	36.4	0	29.2		
31	23	29.2	0	22		
1เม.ย. 49	24	22	0.1	15.1		
2	25	15.1	0	8.1		
3	26	8.1	0	1.3		
4	27	1.3	9.9	4.6		
5	28	4.6	17.3	15.5		
6	29	15.5	0	8.6		
7	30	8.6	0	1.7		
8	31	1.7	7	1.2		
9	32	1.2	0	-6.5		
10	33	-6.5	0	-14		
11	34	-14	0	-21.2		
12	35	-21.2	0	-28.1		
13	36	-28.1	0	-34.8		
14	37	-34.8	0	-41.3		
15	38	-41.3	0	-47.6		
16	39	50	0	41.7	58.5	
17	40	41.7	0	33.5		

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	33.5	0	25.3		
19	42	25.3	0	17.2		
20	43	17.2	0.9	10.3		
21	44	10.3	5	7.7		
22	45	7.7	0	-0.2		
23	46	-0.2	5	-2.7		
24	47	-2.7	0	-9.9		
25	48	-9.9	5	-11.5		
26	49	-11.5	0	-18.2		
27	50	-18.2	0	-24.7		
28	51	-24.7	0	-31		
29	52	-31	1	-36		
30	53	-36	0	-42		
1 พ.ค. 49	54	-42	1	-46.8		
2	55	50	0	41.7	58.4	
3	56	41.7	0	33.5		
4	57	33.5	1	26.6		
5	58	26.6	0	18.5		
6	59	18.5	0	10.5		
7	60	10.5	1	3.6		
8	61	3.6	0	-5.3		
9	62	-5.3	0	-14		
10	63	-14	0	-22.2		
11	64	-22.2	0.5	-29.4		
12	65	-29.4	0	-37.1		
13	66	-37.1	0	-44.6		
14	67	-44.6	35	-16.1		
15	68	-16.1	21	-2		
16	69	-2	45	37.1		
17	70	37.1	19	47.4		
18	71	47.4	0	38.1		
19	72	38.1	1	29.9		
20	73	29.9	1	22		
21	74	22	14	27.6		
22	75	27.6	9	28		
23	76	28	0.3	19.2		
24	77	19.2	9.5	20.1		
25	78	20.1	0.3	11.5		
26	79	11.5	12	15		
27	80	15	2	8.2		

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	8.2	0.6	-0.1		
29	82	-0.1	0.3	-8.5		
30	83	-8.5	2.4	-14.1		
31	84	-14.1	15	-6.6		
1 มิ.ย. 49	85	-6.6	31	17.5		
2	86	17.5	17	25.9		
3	87	25.9	40	58		
4	88	58	19	68.5		
5	89	68.5	0	59.2		
6	90	59.2	0	49.9		
7	91	49.9	0	41.1		
8	92	41.1	13	45.5		
9	93	45.5	0	36.8		
10	94	36.8	0.7	28.9		
11	95	28.9	0.5	20.9		
12	96	20.9	1	13.4		
13	97	13.4	0	5		
14	98	5	0	-3.3		
15	99	-3.3	18	6.7		
16	100	6.7	64	62.7		
17	101	62.7	2	56		
18	102	56	6	53.4		
19	103	53.4	0	44.6		
20	104	44.6	39.1			83.7
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		184.9	336

ตารางผนวกที่ 12 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข AA การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10		2			2
	11		0.1			0.1
	12		0			0
	13		0.1			0.1
	14		4			4
	15		5			5
	16		0			0
	17		14			14
	18		0			0
	19		0.1			0.1
	20		0			0
	21		0.2			0.2
	22		0			0
	23		0			0
	24		0			0
	25		0			0
	26		0.5			0.5
	27		6			6
	28	50	0	42.3	70	
	29	42.3	1	35.9		
	30	35.9	0	28.6		
	31	28.6	0	21.4		
11 มี.ช. 49	24	21.4	0.1	14.5		
	2	25	14.5	0	7.5	
	3	26	7.5	0	0.6	
	4	27	0.6	9.9	3.9	
	5	28	3.9	17.3	14.7	
	6	29	14.7	0	7.8	
	7	30	7.8	0	0.8	
	8	31	0.8	7	0.3	
	9	32	0.3	0	-7.4	
	10	33	-7.4	0	-14.9	
	11	34	-14.9	0	-22.2	
	12	35	-22.2	0	-29.1	
	13	36	-29.1	0	-35.8	
	14	37	-35.8	0	-42.2	
	15	38	-42.2	0	-48.5	
	16	39	50	0	41.5	58.7
	17	40	41.5	0	33.3	

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	33.3	0	25.1		
19	42	25.1	0	16.9		
20	43	16.9	0.9	10		
21	44	10	5	7.4		
22	45	7.4	0	-0.5		
23	46	-0.5	5	-3		
24	47	-3	0	-10.2		
25	48	-10.2	5	-11.8		
26	49	-11.8	0	-18.5		
27	50	-18.5	0	-25		
28	51	-25	0	-31.4		
29	52	-31.4	1	-36.4		
30	53	-36.4	0	-42.4		
1 พ.ค. 49	54	-42.4	1	-47.2		
2	55	50	0	41.6	58.6	
3	56	41.6	0	33.4		
4	57	33.4	1	26.5		
5	58	26.5	0	18.4		
6	59	18.4	0	10.4		
7	60	10.4	1	3.3		
8	61	3.3	0	-5.6		
9	62	-5.6	0	-14.3		
10	63	-14.3	0	-22.5		
11	64	-22.5	0.5	-29.7		
12	65	-29.7	0	-37.4		
13	66	-37.4	0	-44.9		
14	67	-44.9	35	-16.5		
15	68	-16.5	21	-2.4		
16	69	-2.4	45	36.7		
17	70	36.7	19	47		
18	71	47	0	37.7		
19	72	37.7	1	29.5		
20	73	29.5	1	21.6		
21	74	21.6	14	27.2		
22	75	27.2	9	27.6		
23	76	27.6	0.3	18.8		
24	77	18.8	9.5	19.7		
25	78	19.7	0.3	11.2		
26	79	11.2	12	14.7		
27	80	14.7	2	7.9		

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	7.9	0.6	-0.4		
29	82	-0.4	0.3	-8.8		
30	83	-8.8	2.4	-14.4		
31	84	-14.4	15	-6.9		
1 มิ.ย. 49	85	-6.9	31	17.2		
2	86	17.2	17	25.6		
3	87	25.6	40	57.7		
4	88	57.7	19	68.2		
5	89	68.2	0	58.9		
6	90	58.9	0	49.6		
7	91	49.6	0	40.8		
8	92	40.8	13	45.2		
9	93	45.2	0	36.5		
10	94	36.5	0.7	28.6		
11	95	28.6	0.5	20.6		
12	96	20.6	1	13.1		
13	97	13.1	0	4.7		
14	98	4.7	0	-3.6		
15	99	-3.6	18	6.4		
16	100	6.4	64	62.4		
17	101	62.4	2	55.8		
18	102	55.8	6	53.1		
19	103	53.1	0	44.3		
20	104	44.3	39.1			83.4
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		187.3	335.7

ตารางผนวกที่ 13 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข AA การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
10	2		2			2
11	3		0.1			0.1
12	4		0			0
13	5		0.1			0.1
14	6		4			4
15	7		5			5
16	8		0			0
17	9		14			14
18	10		0			0
19	11		0.1			0.1
20	12		0			0
21	13		0.2			0.2
22	14		0			0
23	15		0			0
24	16		0			0
25	17		0			0
26	18		0.5			0.5
27	19		6			6
28	20	50	0	42.7	67	
29	21	42.7	1	36.6		
30	22	36.6	0	29.4		
31	23	29.4	0	22.3		
11มี.ช. 49	24	22.3	0.1	15.4		
2	25	15.4	0	8.4		
3	26	8.4	0	1.6		
4	27	1.6	9.9	5		
5	28	5	17.3	15.9		
6	29	15.9	0	9		
7	30	9	0	2.1		
8	31	2.1	7	1.6		
9	32	1.6	0	-6		
10	33	-6	0	-13.5		
11	34	-13.5	0	-20.7		
12	35	-20.7	0	-27.6		
13	36	-27.6	0	-34.3		
14	37	-34.3	0	-40.8		
15	38	-40.8	0	-47.1		
16	39	50	0	41.8	58.5	
17	40	41.8	0	33.6		

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	33.6	0	25.4		
19	42	25.4	0	17.3		
20	43	17.3	0.9	10.3		
21	44	10.3	5	7.7		
22	45	7.7	0	-0.2		
23	46	-0.2	5	-2.6		
24	47	-2.6	0	-9.8		
25	48	-9.8	5	-11.5		
26	49	-11.5	0	-18.2		
27	50	-18.2	0	-24.7		
28	51	-24.7	0	-31		
29	52	-31	1	-36.1		
30	53	-36.1	0	-42.2		
1 พ.ค. 49	54	-42.2	1	-47		
2	55	50	0	41.8	58.4	
3	56	41.8	0	33.7		
4	57	33.7	1	26.8		
5	58	26.8	0	18.7		
6	59	18.7	0	10.7		
7	60	10.7	1	3.8		
8	61	3.8	0	-5.1		
9	62	-5.1	0	-13.7		
10	63	-13.7	0	-21.9		
11	64	-21.9	0.5	-29.1		
12	65	-29.1	0	-36.8		
13	66	-36.8	0	-44.2		
14	67	-44.2	35	-15.7		
15	68	-15.7	21	-1.6		
16	69	-1.6	45	37.5		
17	70	37.5	19	47.9		
18	71	47.9	0	38.6		
19	72	38.6	1	30.4		
20	73	30.4	1	22.5		
21	74	22.5	14	28.1		
22	75	28.1	9	28.6		
23	76	28.6	0.3	19.8		
24	77	19.8	9.5	20.7		
25	78	20.7	0.3	12.1		
26	79	12.1	12	15.6		
27	80	15.6	2	8.8		

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	8.8	0.6	0.5		
29	82	0.5	0.3	-7.8		
30	83	-7.8	2.4	-13.4		
31	84	-13.4	15	-5.9		
1 มิ.ย. 49	85	-5.9	31	18.2		
2	86	18.2	17	26.6		
3	87	26.6	40	58.8		
4	88	58.8	19	69.3		
5	89	69.3	0	60		
6	90	60	0	50.9		
7	91	50.9	0	42.2		
8	92	42.2	13	46.6		
9	93	46.6	0	37.9		
10	94	37.9	0.7	30		
11	95	30	0.5	22		
12	96	22	1	14.5		
13	97	14.5	0	6.1		
14	98	6.1	0	-2.2		
15	99	-2.2	18	7.8		
16	100	7.8	64	63.8		
17	101	63.8	2	57.1		
18	102	57.1	6	54.5		
19	103	54.5	0	45.7		
20	104	45.7	39.1			84.8
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		183.9	337.1

ตารางผนวกที่ 14 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข TT การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10		2			2
	11		0.1			0.1
	12		0			0
	13		0.1			0.1
	14		4			4
	15		5			5
	16		0			0
	17		14			14
	18		0			0
	19		0.1			0.1
	20		0			0
	21		0.2			0.2
	22		0			0
	23		0			0
	24		0			0
	25		0			0
	26		0.5			0.5
	27		6			6
	28	300	0	291.6	314	
	29	291.6	1	284.2		
	30	284.2	0	275.8		
	31	275.8	0	267.5		
1เม.ย. 49	24	267.5	0.1	259.4		
	2	50	0	42.5		209.4
	3	42.5	0	35		
	4	35	9.9	37.7		
	5	37.7	17.3	48		
	6	48	0	40.5		
	7	40.5	0	33.1		
	8	33.1	7	31.9		
	9	300	0	290.6	268.1	
	10	290.6	0	281.2		
	11	281.2	0	271.8		
	12	271.8	0	262.5		
	13	262.5	0	253.2		
	14	253.2	0	243.9		
	15	243.9	0	234.7		
	16	234.7	0	225.5		
	17	225.5	0	216.4		

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	216.4	0	207.3		
19	42	300	0	290.6	92.7	
20	43	290.6	0.9	282.3		
21	44	282.3	5	278.2		
22	45	278.2	0	268.9		
23	46	268.9	5	264.8		
24	47	264.8	0	255.5		
25	48	255.5	5	251.6		
26	49	251.6	0	242.4		
27	50	50	0	41.5		192.4
28	51	41.5	0	33		
29	52	33	1	24.7		
30	53	24.7	0	15.3		
1 พ.ค. 49	54	300	1	291.7	284.7	
2	55	291.7	0	282.3		
3	56	282.3	0	273		
4	57	273	1	264.9		
5	58	264.9	0	255.6		
6	59	255.6	0	246.4		
7	60	246.4	1	238.2		
8	61	238.2	0	228		
9	62	228	0	217.9		
10	63	217.9	0	207.5		
11	64	300	0.5	290.3	92.5	
12	65	290.3	0	279.9		
13	66	279.9	0	269.6		
14	67	269.6	35	295.1		
15	68	295.1	21	305.9		
16	69	305.9	45	341.6		41.6
17	70	50	19	60		250
18	71	60	0	50.5		
19	72	50.5	1	42.1		
20	73	42.1	1	33.9		
21	74	33.9	14	39.2		
22	75	39.2	9	39.4		
23	76	39.4	0.3	30.4		
24	77	300	9.5	299.5	269.6	
25	78	299.5	0.3	289.5		
26	79	289.5	12	291.5		
27	80	291.5	2	283.3		

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	283.3	0.6	273.6		
29	82	273.6	0.3	263.6		
30	83	263.6	2.4	256		
31	84	256	15	261.2		
1 มิ.ย. 49	85	261.2	31	282.8		
2	86	282.8	17	289.8		
3	87	289.8	40	320.7		
4	88	320.7	19	330.1		
5	89	330.1	0	319.7		
6	90	319.7	0	309.3		
7	91	309.3	0	299.4		
8	92	299.4	13	302.7		
9	93	302.7	0	292.9		
10	94	292.9	0.7	283.9		
11	95	283.9	0.5	274.7		
12	96	274.7	1	265.9		
13	97	265.9	0	256.2		
14	98	256.2	0	246.5		
15	99	246.5	18	255		
16	100	255	64	309.6		
17	101	309.6	2	301.8		
18	102	301.8	6	298.1		
19	103	298.1	0	288.3		
20	104	288.3	39.1			327.4
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		1321.6	1273.1

ตารางผนวกที่ 15 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือน มิ.ย. TT การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มิ.ค. 49	1		0.8			0.8
10	2		2			2
11	3		0.1			0.1
12	4		0			0
13	5		0.1			0.1
14	6		4			4
15	7		5			5
16	8		0			0
17	9		14			14
18	10		0			0
19	11		0.1			0.1
20	12		0			0
21	13		0.2			0.2
22	14		0			0
23	15		0			0
24	16		0			0
25	17		0			0
26	18		0.5			0.5
27	19		6			6
28	20	300	0	291.8	314	
29	21	291.8	1	284.5		
30	22	284.5	0	276.5		
31	23	276.5	0	268.3		
1 มิ.ย. 49	24	268.3	0.1	260.3		
2	25	50	0	42.4		210.3
3	26	42.4	0	34.9		
4	27	34.9	9.9	37.6		
5	28	37.6	17.3	47.9		
6	29	47.9	0	40.5		
7	30	40.5	0	33.2		
8	31	33.2	7	32		
9	32	300	0	290.7	268	
10	33	290.7	0	281.3		
11	34	281.3	0	271.9		
12	35	271.9	0	262.6		
13	36	262.6	0	253.3		
14	37	253.3	0	244		
15	38	244	0	234.8		
16	39	234.8	0	225.6		
17	40	225.6	0	216.5		

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	216.5	0	207.4		
19	42	300	0	290.9	92.6	
20	43	290.9	0.9	282.6		
21	44	282.6	5	278.5		
22	45	278.5	0	269.2		
23	46	269.2	5	265.1		
24	47	265.1	0	255.8		
25	48	255.8	5	252.2		
26	49	252.2	0	243		
27	50	50	0	41.5		193
28	51	41.5	0	33		
29	52	33	1	24.7		
30	53	24.7	0	15.3		
1 พ.ค. 49	54	300	1	291.7	284.7	
2	55	291.7	0	282.5		
3	56	282.5	0	273.2		
4	57	273.2	1	265.1		
5	58	265.1	0	255.8		
6	59	255.8	0	246.6		
7	60	246.6	1	238.4		
8	61	238.4	0	228.2		
9	62	228.2	0	218.1		
10	63	218.1	0	207.7		
11	64	300	0.5	290.5	92.3	
12	65	290.5	0	280.1		
13	66	280.1	0	269.8		
14	67	269.8	35	295.5		
15	68	295.5	21	306.3		
16	69	306.3	45	342		42
17	70	50	19	60		250
18	71	60	0	50.5		
19	72	50.5	1	42.1		
20	73	42.1	1	33.9		
21	74	33.9	14	39.2		
22	75	39.2	9	39.4		
23	76	39.4	0.3	30.4		
24	77	300	9.5	299.5	269.6	
25	78	299.5	0.3	289.5		
26	79	289.5	12	291.5		
27	80	291.5	2	283.3		

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	283.3	0.6	273.6		
29	82	273.6	0.3	263.6		
30	83	263.6	2.4	256		
31	84	256	15	261.2		
1 มิ.ย. 49	85	261.2	31	282.8		
2	86	282.8	17	289.8		
3	87	289.8	40	320.7		
4	88	320.7	19	330.1		
5	89	330.1	0	319.7		
6	90	319.7	0	309.3		
7	91	309.3	0	299.4		
8	92	299.4	13	302.7		
9	93	302.7	0	293.1		
10	94	293.1	0.7	284.1		
11	95	284.1	0.5	274.9		
12	96	274.9	1	266.1		
13	97	266.1	0	256.4		
14	98	256.4	0	246.8		
15	99	246.8	18	255.3		
16	100	255.3	64	309.9		
17	101	309.9	2	302.1		
18	102	302.1	6	298.4		
19	103	298.4	0	288.6		
20	104	288.6	39.1			327.7
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16
	sum		746.7		1321.2	1275.3

ตารางผนวกที่ 16 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1 เดือนไข TT การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
9 มี.ค. 49	1		0.8			0.8
	10		2			2
	11		0.1			0.1
	12		0			0
	13		0.1			0.1
	14		4			4
	15		5			5
	16		0			0
	17		14			14
	18		0			0
	19		0.1			0.1
	20		0			0
	21		0.2			0.2
	22		0			0
	23		0			0
	24		0			0
	25		0			0
	26		0.5			0.5
	27		6			6
	28	300	0	291.6	314	
	29	291.6	1	284.2		
	30	284.2	0	275.9		
	31	275.8	0	267.6		
1เม.ย. 49	24	267.5	0.1	259.5		
	2	50	0	42.6		209.5
	3	42.5	0	35.1		
	4	35	9.9	37.8		
	5	37.7	17.3	48.1		
	6	48	0	40.7		
	7	40.5	0	33.3		
	8	33.1	7	32.3		
	9	300	0	290.7	267.7	
	10	290.6	0	281.3		
	11	281.2	0	272.1		
	12	271.8	0	262.8		
	13	262.5	0	253.5		
	14	253.2	0	244.2		
	15	243.9	0	234.8		
	16	234.7	0	225.6		
	17	225.5	0	216.5		

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
18 เม.ย. 49	41	216.4	0	207.4		
19	42	300	0	290.7	92.6	
20	43	290.6	0.9	282.4		
21	44	282.3	5	278.3		
22	45	278.2	0	269		
23	46	268.9	5	264.9		
24	47	264.8	0	255.6		
25	48	255.5	5	251.7		
26	49	251.6	0	242.5		
27	50	50	0	41.6		192.5
28	51	41.5	0	33.1		
29	52	33	1	24.8		
30	53	24.7	0	15.4		
1 พ.ค. 49	54	300	1	291.9	284.6	
2	55	291.7	0	282.5		
3	56	282.3	0	273.2		
4	57	273	1	264.8		
5	58	264.9	0	255.5		
6	59	255.6	0	246.1		
7	60	246.4	1	237.9		
8	61	238.2	0	227.7		
9	62	228	0	217.6		
10	63	217.9	0	207.2		
11	64	300	0.5	290.5	92.8	
12	65	290.3	0	280.1		
13	66	279.9	0	269.8		
14	67	269.6	35	295.3		
15	68	295.1	21	306.1		
16	69	305.9	45	341.8		41.8
17	70	50	19	60		250
18	71	60	0	50.5		
19	72	50.5	1	42.1		
20	73	42.1	1	33.9		
21	74	33.9	14	39.2		
22	75	39.2	9	39.4		
23	76	39.4	0.3	30.6		
24	77	300	9.5	299.4	269.4	
25	78	299.5	0.3	289.5		
26	79	289.5	12	291.5		
27	80	291.5	2	283.3		

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
28 พ.ค. 49	81	283.3	0.6	273.6		
29	82	273.6	0.3	263.6		
30	83	263.6	2.4	256		
31	84	256	15	261.2		
1 มิ.ย. 49	85	261.2	31	282.8		
2	86	282.8	17	289.8		
3	87	289.8	40	320.7		
4	88	320.7	19	330.1		
5	89	330.1	0	319.7		
6	90	319.7	0	309.3		
7	91	309.3	0	299.4		
8	92	299.4	13	302.7		
9	93	302.7	0	292.9		
10	94	292.9	0.7	283.9		
11	95	283.9	0.5	274.7		
12	96	274.7	1	265.9		
13	97	265.9	0	256.2		
14	98	256.2	0	246.5		
15	99	246.5	18	255.1		
16	100	255	64	309.6		
17	101	309.6	2	301.8		
18	102	301.8	6	298.2		
19	103	298.1	0	288.4		
20	104	288.3	39.1			327.4
21	105		15			15
22	106		8			8
23	107		16			16
24	108		13.1			13.1
25	109		2			2
26	110		1			1
27	111		0.4			0.4
28	112		2			2
29	113		1			1
30	114		0			0
1 ก.ค. 49	115		29			29
2	116		22			22
3	117		30			30
4	118		6			6
5	119		3			3
6	120		0			0
7	121		0			0
8	122		1			1
9	123		54			54
10 ก.ค. 49	124		16			16

ตารางผนวกที่ 17 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนไข SS การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	100	0.3	92.9	115	
11	21	92.9	1	86.5		
12	22	86.5	3.8	82.9		
13	23	82.9	58.6	134.9		34.9
14	24	100	15	107.8		
15	25	107.8	4	104.4		
16	26	104.4	0	97		
17	27	97	1	90.8		
18	28	90.8	0	83.8		
19	29	83.8	0	76.5		
20	30	76.5	3	72.2		
21	31	72.2	43	107.7		
22	32	107.7	0.1	99.8		
23	33	99.8	0.1	92		
24	34	92	4	88		
25	35	88	9	89.1		
26	36	89.1	2	83		
27	37	83	0	75.1		
28	38	75.1	0	67.3		
29	39	67.3	9	68.3		
30	40	68.3	4	64.5		

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	64.5	1	57.6		
2	42	57.6	0	49.9		
3	43	100	0	92.1	50.1	
4	44	92.1	0	84.1		
5	45	84.1	0	76.1		
6	46	76.1	2	70.3		
7	47	70.3	1	63.6		
8	48	63.6	0	55.8		
9	49	55.8	0	48		
10	50	100	0	92	52	
11	51	92	0	84.1		
12	52	84.1	0	76.2		
13	53	76.2	0	68.2		
14	54	68.2	0	60.3		
15	55	60.3	0	52.4		
16	56	100	0	92.2	47.6	
17	57	92.2	0	84.2		
18	58	84.2	0	76.2		
19	59	76.2	0	68.3		
20	60	68.3	0	60.5		
21	61	60.5	0.3	52.5		
22	62	100	10	101.7	47.5	
23	63	101.7	11	104		
24	64	104	0	95.2		
25	65	95.2	0	86.3		
26	66	86.3	0.4	78		
27	67	78	62	131.9		31.9
28	68	100	11	102.1		
29	69	102.1	1	94.4		
30	70	94.4	11	96.5		
31	71	96.5	0	87.6		
1 พ.ย.49	72	87.6	0	78.7		
2	73	78.7	0.1	70.1		
3	74	70.1	14	75.5		
4	75	75.5	1	67.7		
5	76	67.7	0.1	59.1		
6	77	59.1	0	50.6		
7	78	100	0	91.3	49.4	
8	79	91.3	0	82.6		
9	80	82.5	4.1	78.1		

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10 พย.49	81	78	0	69.4		
11	82	69.3	0	60.7		
12	83	60.6	0	52		
13	84	100	0	91.3	48	
14	85	91.3	0	82.6		
15	86	82.6	0	73.9		
16	87	73.8	0	65.5		
17	88	65.4	0	57.3		
18	89	57.2	0	49		
19	90	100	0	91.7	51	
20	91	91.8	0	83.4		
21	92	83.5	0	75.3		
22	93	75.4	0	67.2		
23	94	67.3	0	59.1		
24	95	59.2	0	51.1		
25	96	100	0	91.8	48.9	
26	97	91.8	0.2	83.7		
27	98	83.9	0	75.5		
28	99	75.7	0	67.3		
29	100	67.5	0	59.2		
30	101	59.4	1	52.2		
1 ธค.49	102	100	1	92.9	47.8	
2	103	92.9	0	84.8		
3	104	84.8	0			84.8
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 18 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนไข SS การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	100	0.3	93.2	111	
11	21	93.2	1	87.1		
12	22	87.1	3.8	83.7		
13	23	83.7	58.6	135.9		35.9
14	24	100	15	108		
15	25	108	4	104.6		
16	26	104.6	0	97.2		
17	27	97.2	1	91		
18	28	91	0	83.7		
19	29	83.7	0	76.4		
20	30	76.4	3	72.1		
21	31	72.1	43	107.6		
22	32	107.6	0.1	99.7		
23	33	99.7	0.1	91.9		
24	34	91.9	4	87.9		
25	35	87.9	9	89		
26	36	89	2	82.9		
27	37	82.9	0	75		
28	38	75	0	67.3		
29	39	67.3	9	68.3		
30	40	68.3	4	64.5		

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	64.5	1	57.6		
2	42	57.6	0	49.9		
3	43	100	0	92.3	50.1	
4	44	92.3	0	84.3		
5	45	84.3	0	76.3		
6	46	76.3	2	70.4		
7	47	70.4	1	63.8		
8	48	63.8	0	56		
9	49	56	0	48.2		
10	50	100	0	91.9	51.8	
11	51	91.9	0	84		
12	52	84	0	76		
13	53	76	0	68		
14	54	68	0	60.1		
15	55	60.1	0	52.1		
16	56	100	0	92.3	47.9	
17	57	92.3	0	84.3		
18	58	84.3	0	76.3		
19	59	76.3	0	68.4		
20	60	68.4	0	60.6		
21	61	60.6	0.3	52.5		
22	62	100	10	102	47.5	
23	63	102	11	104.3		
24	64	104.3	0	95.5		
25	65	95.5	0	86.6		
26	66	86.6	0.4	78.3		
27	67	78.3	62	132.2		32.2
28	68	100	11	102.2		
29	69	102.2	1	94.5		
30	70	94.5	11	96.6		
31	71	96.6	0	87.7		
1 พ.ย.49	72	87.7	0	78.8		
2	73	78.8	0.1	70.2		
3	74	70.2	14	75.6		
4	75	75.6	1	67.8		
5	76	67.8	0.1	59.2		
6	77	59.2	0	50.7		
7	78	100	0	91.6	49.3	
8	79	91.6	0	83		
9	80	83	4.1	78.5		

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	78.5	0	69.8		
11	82	69.8	0	61.1		
12	83	61.1	0	52.4		
13	84	100	0	91.5	47.6	
14	85	91.5	0	82.8		
15	86	82.8	0	74		
16	87	74	0	65.6		
17	88	65.6	0	57.4		
18	89	57.4	0	49.1		
19	90	100	0	92	50.9	
20	91	92	0	83.7		
21	92	83.7	0	75.6		
22	93	75.6	0	67.5		
23	94	67.5	0	59.4		
24	95	59.4	0	51.4		
25	96	100	0	92	48.6	
26	97	92	0.2	84.1		
27	98	84.1	0	75.9		
28	99	75.9	0	67.7		
29	100	67.7	0	59.6		
30	101	59.6	1	52.6		
1 ธค.49	102	100	1	93.1	47.4	
2	103	93.1	0	85		
3	104	85	0			85
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 19 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือน มิถุนายน SS การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระเหย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	100	0.3	92.8	116	
11	21	92.8	1	86.3		
12	22	86.3	3.8	82.7		
13	23	82.7	58.6	134.7		34.7
14	24	100	15	107.7		
15	25	107.7	4	104.3		
16	26	104.3	0	96.9		
17	27	96.9	1	90.7		
18	28	90.7	0	83.7		
19	29	83.7	0	76.4		
20	30	76.4	3	72.1		
21	31	72.1	43	107.6		
22	32	107.6	0.1	99.8		
23	33	99.8	0.1	92		
24	34	92	4	88		
25	35	88	9	89.1		
26	36	89.1	2	83		
27	37	83	0	75		
28	38	75	0	67.2		
29	39	67.2	9	68.2		
30	40	68.2	4	64.4		

ตารางผนวกที่ 19 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	64.4	1	57.5		
2	42	57.5	0	49.7		
3	43	100	0	92	50.3	
4	44	92	0	84		
5	45	84	0	76		
6	46	76	2	70.2		
7	47	70.2	1	63.5		
8	48	63.5	0	55.7		
9	49	55.7	0	47.9		
10	50	100	0	91.8	52.1	
11	51	91.8	0	83.9		
12	52	83.9	0	76		
13	53	76	0	68		
14	54	68	0	60		
15	55	60	0	52.1		
16	56	100	0	92.1	47.9	
17	57	92.1	0	84.1		
18	58	84.1	0	76.1		
19	59	76.1	0	68.2		
20	60	68.2	0	60.4		
21	61	60.4	0.3	52.4		
22	62	100	10	101.5	47.6	
23	63	101.5	11	103.8		
24	64	103.8	0	95		
25	65	95	0	86.1		
26	66	86.1	0.4	77.8		
27	67	77.8	62	131.7		31.7
28	68	100	11	102.3		
29	69	102.3	1	94.6		
30	70	94.6	11	96.7		
31	71	96.7	0	87.8		
1 พ.ย.49	72	87.8	0	78.9		
2	73	78.9	0.1	70.3		
3	74	70.3	14	75.7		
4	75	75.7	1	67.9		
5	76	67.9	0.1	59.3		
6	77	59.3	0	50.8		
7	78	100	0	91.4	49.2	
8	79	91.4	0	82.7		
9	80	82.7	4.1	78.2		

ตารางผนวกที่ 19 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	78.2	0	69.5		
11	82	69.5	0	60.8		
12	83	60.8	0	52.1		
13	84	100	0	91.2	47.9	
14	85	91.2	0	82.5		
15	86	82.5	0	73.8		
16	87	73.8	0	65.4		
17	88	65.4	0	57.2		
18	89	57.2	0	48.9		
19	90	100	0	91.5	51.1	
20	91	91.5	0	83.2		
21	92	83.2	0	74.9		
22	93	74.9	0	66.8		
23	94	66.8	0	58.7		
24	95	58.7	0	50.7		
25	96	100	0	91.8	49.3	
26	97	91.8	0.2	83.7		
27	98	83.7	0	75.5		
28	99	75.5	0	67.3		
29	100	67.3	0	59.2		
30	101	59.2	1	52.2		
1 ธค.49	102	100	1	92.9	47.8	
2	103	92.9	0	84.8		
3	104	84.8	0			84.8
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 20 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนไข SA การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	100	0.3	92.9	115	
11	21	92.9	1	86.5		
12	22	86.5	3.8	82.9		
13	23	82.9	58.6	134.9		34.9
14	24	100	15	107.8		
15	25	107.8	4	104.4		
16	26	104.4	0	97		
17	27	97	1	90.8		
18	28	90.8	0	83.8		
19	29	83.8	0	76.5		
20	30	76.5	3	72.2		
21	31	72.2	43	107.7		
22	32	107.7	0.1	99.8		
23	33	99.8	0.1	92		
24	34	92	4	88		
25	35	88	9	89.1		
26	36	89.1	2	83		
27	37	83	0	75.1		
28	38	75.1	0	67.3		
29	39	67.3	9	68.3		
30	40	68.3	4	64.5		

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	64.5	1	57.6		
2	42	57.6	0	49.9		
3	43	100	0	92.1	50.1	
4	44	92.1	0	84.1		
5	45	84.1	0	76.1		
6	46	76.1	2	70.3		
7	47	70.3	1	63.6		
8	48	63.6	0	55.8		
9	49	55.8	0	48		
10	50	100	0	92	52	
11	51	92	0	84.1		
12	52	84.1	0	76.2		
13	53	76.2	0	68.2		
14	54	68.2	0	60.3		
15	55	60.3	0	52.4		
16	56	100	0	92.2	47.6	
17	57	92.2	0	84.2		
18	58	84.2	0	76.2		
19	59	76.2	0	68.3		
20	60	68.3	0	60.5		
21	61	60.5	0.3	52.5		
22	62	100	10	101.7	47.5	
23	63	101.7	11	104		
24	64	104	0	95.2		
25	65	95.2	0	86.3		
26	66	86.3	0.4	78		
27	67	78	62	131.9		31.9
28	68	100	11	102.1		
29	69	102.1	1	94.4		
30	70	94.4	11	96.5		
31	71	96.5	0	87.6		
1 พ.ย.49	72	87.6	0	78.7		
2	73	78.7	0.1	70.1		
3	74	70.1	14	75.5		
4	75	75.5	1	67.7		
5	76	67.7	0.1	59.1		
6	77	59.1	0	50.6		
7	78	100	0	91.3	49.4	
8	79	91.3	0	82.6		
9	80	82.5	4.1	78.1		

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10 พย.49	81	-40.6	0	-46.65		
11	82	50	0	41.55	58.3	
12	83	41.55	0	33.2		
13	84	33.2	0	25.05		
14	85	25.05	0	16.9		
15	86	16.9	0	8.75		
16	87	8.75	0	1		
17	88	1	0	-6.55		
18	89	-6.55	0	-13.8		
19	90	-13.8	0	-20.55		
20	91	-20.55	0	-27		
21	92	-27	0	-33.25		
22	93	-33.25	0	-39.3		
23	94	-39.3	0	-45.25		
24	95	-45.25	0	-50.9		
25	96	50	0	42.15	59.1	
26	97	42.15	0.2	34.7		
27	98	34.7	0	26.95		
28	99	26.95	0	19.2		
29	100	19.2	0	11.65		
30	101	11.65	1	5.2		
1 ธค.49	102	5.2	1	-1.15		
2	103	-1.15	0	-8.3		
3	104	84.8	0			84.8
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 21 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนไข SA การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	100	0.3	93.1	113	
11	21	93.1	1	86.7		
12	22	86.7	3.8	83.1		
13	23	83.1	58.6	135.3		35.3
14	24	100	15	107.8		
15	25	107.8	4	104.4		
16	26	104.4	0	97.2		
17	27	97.2	1	91		
18	28	91	0	84		
19	29	84	0	76.7		
20	30	76.7	3	72.4		
21	31	72.4	43	108.3		
22	32	108.3	0.1	100.4		
23	33	100.4	0.1	92.6		
24	34	92.6	4	88.6		
25	35	88.6	9	89.9		
26	36	89.9	2	83.8		
27	37	83.8	0	75.9		
28	38	75.9	0	68.1		
29	39	68.1	9	69.1		
30	40	69.1	4	65.3		

ตารางผนวกที่ 21 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	65.3	1	58.4		
2	42	58.4	0	50.7		
3	43	100	0	92.5	49.3	
4	44	92.5	0	84.5		
5	45	84.5	0	76.5		
6	46	76.5	2	70.8		
7	47	70.8	1	64.1		
8	48	64.1	0	56.3		
9	49	56.3	0	48.5		
10	50	48.5	0	40.7		
11	51	40.7	0	33.4		
12	52	33.4	0	26.05		
13	53	26.05	0	18.65		
14	54	18.65	0	11.3		
15	55	11.3	0	4.05		
16	56	4.05	0	-3		
17	57	-3	0	-9.95		
18	58	-9.95	0	-16.5		
19	59	-16.5	0	-22.75		
20	60	-22.75	0	-28.7		
21	61	-28.7	0.3	-34.85		
22	62	-34.85	10	-31		
23	63	-31	11	-26.4		
24	64	-26.4	0	-32.75		
25	65	-32.75	0	-39.1		
26	66	-39.1	0.4	-44.9		
27	67	-44.9	62	11.45		
28	68	11.45	11	14.3		
29	69	14.3	1	7.35		
30	70	7.35	11	10.2		
31	71	10.2	0	2.05		
1 พ.ย.49	72	2.05	0	-5.95		
2	73	-5.95	0.1	-13.4		
3	74	-13.4	14	-6.3		
4	75	-6.3	1	-12.25		
5	76	-12.25	0.1	-18.8		
6	77	-18.8	0	-25.15		
7	78	-25.15	0	-31.4		
8	79	-31.4	0	-37.65		
9	80	-37.65	4.1	-39.6		

ตารางผนวกที่ 21 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	-39.6	0	-45.65		
11	82	50	0	41.7	58.3	
12	83	41.7	0	33.35		
13	84	33.35	0	25.2		
14	85	25.2	0	17.05		
15	86	17.05	0	8.9		
16	87	8.9	0	1.15		
17	88	1.15	0	-6.4		
18	89	-6.4	0	-13.65		
19	90	-13.65	0	-20.4		
20	91	-20.4	0	-26.85		
21	92	-26.85	0	-33.1		
22	93	-33.1	0	-39.15		
23	94	-39.15	0	-45.1		
24	95	-45.1	0	-50.75		
25	96	50	0	42.3	59.1	
26	97	42.3	0.2	35		
27	98	35	0	27.25		
28	99	27.25	0	19.5		
29	100	19.5	0	12.1		
30	101	12.1	1	5.65		
1 พค.49	102	5.65	1	-0.7		
2	103	-0.7	0	-7.85		
3	104	85	0			85
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 22 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนไข SA การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	100	0.3	92.8	116	
11	21	92.8	1	86.3		
12	22	86.3	3.8	82.7		
13	23	82.7	58.6	134.7		34.7
14	24	100	15	107.7		
15	25	107.7	4	104.3		
16	26	104.3	0	96.9		
17	27	96.9	1	90.7		
18	28	90.7	0	83.7		
19	29	83.7	0	76.4		
20	30	76.4	3	72.1		
21	31	72.1	43	107.6		
22	32	107.6	0.1	99.8		
23	33	99.8	0.1	92		
24	34	92	4	88		
25	35	88	9	89.1		
26	36	89.1	2	83		
27	37	83	0	75		
28	38	75	0	67.2		
29	39	67.2	9	68.2		
30	40	68.2	4	64.4		

ตารางผนวกที่ 22 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	64.4	1	57.5		
2	42	57.5	0	49.7		
3	43	100	0	92	50.3	
4	44	92	0	84		
5	45	84	0	76		
6	46	76	2	70.2		
7	47	70.2	1	63.5		
8	48	63.5	0	55.7		
9	49	55.7	0	47.9		
10	50	100	0	91.8	52.1	
11	51	91.8	0	83.9		
12	52	83.9	0	76		
13	53	76	0	68		
14	54	68	0	60		
15	55	60	0	52.1		
16	56	100	0	92.1	47.9	
17	57	92.1	0	84.1		
18	58	84.1	0	76.1		
19	59	76.1	0	68.2		
20	60	68.2	0	60.4		
21	61	60.4	0.3	52.4		
22	62	100	10	101.5	47.6	
23	63	101.5	11	103.8		
24	64	103.8	0	95		
25	65	95	0	86.1		
26	66	86.1	0.4	77.8		
27	67	77.8	62	131.7		31.7
28	68	100	11	102.3		
29	69	102.3	1	94.6		
30	70	94.6	11	96.7		
31	71	96.7	0	87.8		
1 พ.ย.49	72	87.8	0	78.9		
2	73	78.9	0.1	70.3		
3	74	70.3	14	75.7		
4	75	75.7	1	67.9		
5	76	67.9	0.1	59.3		
6	77	59.3	0	50.8		
7	78	100	0	91.4	49.2	
8	79	91.4	0	82.7		
9	80	82.7	4.1	78.2		

ตารางผนวกที่ 22 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	78.2	0	69.5		
11	82	69.5	0	60.8		
12	83	60.8	0	52.1		
13	84	100	0	91.2	47.9	
14	85	91.2	0	82.5		
15	86	82.5	0	73.8		
16	87	73.8	0	65.4		
17	88	65.4	0	57.2		
18	89	57.2	0	48.9		
19	90	100	0	91.5	51.1	
20	91	91.5	0	83.2		
21	92	83.2	0	74.9		
22	93	74.9	0	66.8		
23	94	66.8	0	58.7		
24	95	58.7	0	50.7		
25	96	100	0	91.8	49.3	
26	97	91.8	0.2	83.7		
27	98	83.7	0	75.5		
28	99	75.5	0	67.3		
29	100	67.3	0	59.2		
30	101	59.2	1	52.2		
1 ธค.49	102	100	1	92.9	47.8	
2	103	92.9	0	84.8		
3	104	84.8	0			84.8
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 23 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือน มิถุนายน AS การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	50	0.3	43.25	65	
11	21	43.25	1	37.3		
12	22	37.3	3.8	34.15		
13	23	34.15	58.6	86.5		36.5
14	24	50	15	58.15		
15	25	58.15	4	55		
16	26	55	0	47.95		
17	27	47.95	1	42.1		
18	28	42.1	0	35.55		
19	29	35.55	0	28.7		
20	30	28.7	3	24.85		
21	31	24.85	43	60.9		
22	32	60.9	0.1	53.25		
23	33	53.25	0.1	45.8		
24	34	45.8	4	42.25		
25	35	42.25	9	43.7		
26	36	43.7	2	37.95		
27	37	37.95	0	30.4		
28	38	30.4	0	23.05		
29	39	23.05	9	24.5		
30	40	24.5	4	21		

ตารางผนวกที่ 23 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	21	1	14.5		
2	42	14.5	0	7.1		
3	43	7.1	0	-0.1		
4	44	-0.1	0	-7.3		
5	45	-7.3	0	-14.2		
6	46	-14.2	2	-18.9		
7	47	-18.9	1	-24		
8	48	-24	0	-30.2		
9	49	-30.2	0	-36.2		
10	50	100	0	92	106.5	
11	51	92	0	84.1		
12	52	84.1	0	76.2		
13	53	76.2	0	68.2		
14	54	68.2	0	60.3		
15	55	60.3	0	52.4		
16	56	100	0	92.2	47.6	
17	57	92.2	0	84.2		
18	58	84.2	0	76.2		
19	59	76.2	0	68.3		
20	60	68.3	0	60.5		
21	61	60.5	0.3	52.4		
22	62	100	10	101.7	47.6	
23	63	101.7	11	104		
24	64	104	0	95.2		
25	65	95.2	0	86.3		
26	66	86.3	0.4	78		
27	67	78	62	131.9		31.9
28	68	100	11	102.1		
29	69	102.1	1	94.4		
30	70	94.4	11	96.5		
31	71	96.5	0	87.6		
1 พ.ย.49	72	87.6	0	78.7		
2	73	78.7	0.1	70.1		
3	74	70.1	14	75.5		
4	75	75.5	1	67.7		
5	76	67.7	0.1	59.1		
6	77	59.1	0	50.6		
7	78	100	0	91.3	49.4	
8	79	91.3	0	82.5		
9	80	82.5	4.1	78		

ตารางผนวกที่ 23 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10 พย.49	81	78	0	69.3		
11	82	69.3	0	60.6		
12	83	60.6	0	51.9		
13	84	100	0	91.3	48.1	
14	85	91.3	0	82.6		
15	86	82.6	0	73.8		
16	87	73.8	0	65.4		
17	88	65.4	0	57.2		
18	89	57.2	0	48.9		
19	90	100	0	91.8	51.1	
20	91	91.8	0	83.5		
21	92	83.5	0	75.4		
22	93	75.4	0	67.3		
23	94	67.3	0	59.2		
24	95	59.2	0	51.2		
25	96	100	0	91.8	48.8	
26	97	91.8	0.2	83.9		
27	98	83.9	0	75.7		
28	99	75.7	0	67.5		
29	100	67.5	0	59.4		
30	101	59.4	1	52.4		
1 ธค.49	102	100	1	92.9	47.6	
2	103	92.9	0	84.8		
3	104	84.8	0			84.8
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 24 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนไข AS การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	50	0.3	43.3	64	
11	21	43.3	1	37.4		
12	22	37.4	3.8	34.3		
13	23	34.3	58.6	86.9		36.9
14	24	50	15	58.3		
15	25	58.3	4	55.3		
16	26	55.3	0	48.25		
17	27	48.25	1	42.45		
18	28	42.45	0	35.9		
19	29	35.9	0	29.2		
20	30	29.2	3	25.4		
21	31	25.4	43	61.45		
22	32	61.45	0.1	53.8		
23	33	53.8	0.1	46.5		
24	34	46.5	4	42.95		
25	35	42.95	9	44.45		
26	36	44.45	2	38.7		
27	37	38.7	0	31.15		
28	38	31.15	0	23.85		
29	39	23.85	9	25.3		
30	40	25.3	4	21.8		

ตารางผนวกที่ 24 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	21.8	1	15.5		
2	42	15.5	0	8.1		
3	43	8.1	0	0.9		
4	44	0.9	0	-6.3		
5	45	-6.3	0	-13		
6	46	-13	2	-17.5		
7	47	-17.5	1	-22.6		
8	48	-22.6	0	-28.8		
9	49	-28.8	0	-34.8		
10	50	100	0	92.2	106.2	
11	51	92.2	0	84.3		
12	52	84.3	0	76.4		
13	53	76.4	0	68.4		
14	54	68.4	0	60.5		
15	55	60.5	0	52.6		
16	56	100	0	92.4	47.4	
17	57	92.4	0	84.4		
18	58	84.4	0	76.4		
19	59	76.4	0	68.9		
20	60	68.9	0	61.1		
21	61	61.1	0.3	53		
22	62	100	10	101.8	47	
23	63	101.8	11	104.3		
24	64	104.3	0	95.5		
25	65	95.5	0	86.8		
26	66	86.8	0.4	78.5		
27	67	78.5	62	132.4		32.4
28	68	100	11	102.1		
29	69	102.1	1	94.4		
30	70	94.4	11	96.6		
31	71	96.6	0	87.7		
1 พ.ย.49	72	87.7	0	78.8		
2	73	78.8	0.1	70.2		
3	74	70.2	14	75.6		
4	75	75.6	1	68.1		
5	76	68.1	0.1	59.6		
6	77	59.6	0	51.1		
7	78	100	0	91.5	48.9	
8	79	91.5	0	82.7		
9	80	82.7	4.1	78.2		

ตารางผนวกที่ 24 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	78.2	0	69.5		
11	82	69.5	0	60.8		
12	83	60.8	0	52.1		
13	84	100	0	91.5	47.9	
14	85	91.5	0	82.9		
15	86	82.9	0	74.1		
16	87	74.1	0	65.7		
17	88	65.7	0	57.5		
18	89	57.5	0	49.2		
19	90	100	0	92	50.8	
20	91	92	0	83.8		
21	92	83.8	0	75.7		
22	93	75.7	0	67.6		
23	94	67.6	0	59.5		
24	95	59.5	0	51.5		
25	96	100	0	92	48.5	
26	97	92	0.2	84.1		
27	98	84.1	0	75.9		
28	99	75.9	0	67.7		
29	100	67.7	0	59.6		
30	101	59.6	1	52.6		
1 ธค.49	102	100	1	93	47.4	
2	103	93	0	84.9		
3	104	84.9	0			84.9
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 25 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือน มิ.ย. AS การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	50	0.3	43.2	68	
11	21	43.2	1	37.2		
12	22	37.2	3.8	34		
13	23	34	58.6	86.2		36.2
14	24	50	15	58.1		
15	25	58.1	4	54.8		
16	26	54.8	0	47.6		
17	27	47.6	1	41.6		
18	28	41.6	0	34.8		
19	29	34.8	0	27.9		
20	30	27.9	3	24		
21	31	24	43	60.05		
22	32	60.05	0.1	52.4		
23	33	52.4	0.1	44.9		
24	34	44.9	4	41.3		
25	35	41.3	9	42.7		
26	36	42.7	2	37		
27	37	37	0	29.4		
28	38	29.4	0	21.9		
29	39	21.9	9	23.4		
30	40	23.4	4	19.8		

ตารางผนวกที่ 25 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	19.8	1	13.3		
2	42	13.3	0	5.9		
3	43	5.9	0	-1.3		
4	44	-1.3	0	-8.5		
5	45	-8.5	0	-15.4		
6	46	-15.4	2	-20.1		
7	47	-20.1	1	-25.4		
8	48	-25.4	0	-31.6		
9	49	-31.6	0	-37.6		
10	50	100	0	91.7	106.8	
11	51	91.7	0	83.8		
12	52	83.8	0	75.9		
13	53	75.9	0	67.9		
14	54	67.9	0	60		
15	55	60	0	52.1		
16	56	100	0	92	47.9	
17	57	92	0	84		
18	58	84	0	76		
19	59	76	0	68.1		
20	60	68.1	0	60.3		
21	61	60.3	0.3	52.2		
22	62	100	10	101.5	47.8	
23	63	101.5	11	103.8		
24	64	103.8	0	95		
25	65	95	0	86.1		
26	66	86.1	0.4	77.8		
27	67	77.8	62	131.7		31.7
28	68	100	11	102		
29	69	102	1	94.3		
30	70	94.3	11	96.4		
31	71	96.4	0	87.5		
1 พ.ย.49	72	87.5	0	78.6		
2	73	78.6	0.1	70		
3	74	70	14	75.4		
4	75	75.4	1	67.6		
5	76	67.6	0.1	59		
6	77	59	0	50.5		
7	78	100	0	91.1	49.5	
8	79	91.1	0	82.3		
9	80	82.3	4.1	77.8		

ตารางผนวกที่ 25 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	77.8	0	69.1		
11	82	69.1	0	60.4		
12	83	60.4	0	51.7		
13	84	100	0	91.2	48.3	
14	85	91.2	0	82.5		
15	86	82.5	0	73.7		
16	87	73.7	0	65.3		
17	88	65.3	0	57.1		
18	89	57.1	0	48.8		
19	90	100	0	91.6	51.2	
20	91	91.6	0	83.3		
21	92	83.3	0	75.2		
22	93	75.2	0	67.1		
23	94	67.1	0	59		
24	95	59	0	51		
25	96	100	0	91.6	49	
26	97	91.6	0.2	83.7		
27	98	83.7	0	75.5		
28	99	75.5	0	67.3		
29	100	67.3	0	59.2		
30	101	59.2	1	52.2		
1 พค.49	102	100	1	92.7	47.8	
2	103	92.7	0	84.4		
3	104	84.4	0			84.4
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 26 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนมิถุนายน AA การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	50	0.3	43.25	65	
11	21	43.25	1	37.3		
12	22	37.3	3.8	34.15		
13	23	34.15	58.6	86.5		36.5
14	24	50	15	58.15		
15	25	58.15	4	55		
16	26	55	0	47.95		
17	27	47.95	1	42.1		
18	28	42.1	0	35.55		
19	29	35.55	0	28.7		
20	30	28.7	3	24.85		
21	31	24.85	43	60.9		
22	32	60.9	0.1	53.25		
23	33	53.25	0.1	45.8		
24	34	45.8	4	42.25		
25	35	42.25	9	43.7		
26	36	43.7	2	37.95		
27	37	37.95	0	30.4		
28	38	30.4	0	23.05		
29	39	23.05	9	24.5		
30	40	24.5	4	21		

ตารางผนวกที่ 26 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	21	1	14.5		
2	42	14.5	0	7.1		
3	43	7.1	0	-0.1		
4	44	-0.1	0	-7.3		
5	45	-7.3	0	-14.2		
6	46	-14.2	2	-18.9		
7	47	-18.9	1	-24		
8	48	-24	0	-30.2		
9	49	-30.2	0	-36.2		
10	50	-36.2	0	-42.2		
11	51	-42.2	0	-47.75		
12	52	50	0	42.45	58.6	
13	53	42.45	0	34.9		
14	54	34.9	0	27.35		
15	55	27.35	0	19.8		
16	56	19.8	0	12.65		
17	57	12.65	0	5.4		
18	58	5.4	0	-1.85		
19	59	-1.85	0	-8.8		
20	60	-8.8	0	-15.45		
21	61	-15.45	0.3	-22.3		
22	62	-22.3	10	-19.05		
23	63	-19.05	11	-15.1		
24	64	-15.1	0	-22.25		
25	65	-22.25	0	-29.2		
26	66	-29.2	0.4	-35.35		
27	67	-35.35	62	20.8		
28	68	20.8	11	23.55		
29	69	23.55	1	16.5		
30	70	16.5	11	19.25		
31	71	19.25	0	11		
1 พ.ย.49	72	11	0	2.85		
2	73	2.85	0.1	-5		
3	74	-5	14	1.35		
4	75	1.35	1	-5.7		
5	76	-5.7	0.1	-13.35		
6	77	-13.35	0	-20.8		
7	78	-20.8	0	-28.05		
8	79	-28.05	0	-35.1		
9	80	-35.1	4.1	-37.65		

ตารางผนวกที่ 26 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10 พย.49	81	-37.65	0	-44		
11	82	50	0	41.55	57.9	
12	83	41.55	0	33.2		
13	84	33.2	0	25.05		
14	85	25.05	0	16.9		
15	86	16.9	0	8.75		
16	87	8.75	0	1		
17	88	1	0	-6.55		
18	89	-6.55	0	-14		
19	90	-14	0	-20.75		
20	91	-20.75	0	-27.3		
21	92	-27.3	0	-33.55		
22	93	-33.55	0	-39.6		
23	94	-39.6	0	-45.55		
24	95	50	0	42.15	58.2	
25	96	42.15	0	34.4		
26	97	34.4	0.2	27.05		
27	98	27.05	0	19.4		
28	99	19.4	0	11.75		
29	100	11.75	0	4.3		
30	101	4.3	1	-2.05		
1 ธค.49	102	-2.05	1	-8.1		
2	103	-8.1	0	-14.75		
3	104	0	0			0
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 27 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไข AA การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	50	0.3	43.4	61	
11	21	43.4	1	37.5		
12	22	37.5	3.8	34.4		
13	23	34.4	58.6	86.6		36.6
14	24	50	15	58.3		
15	25	58.3	4	55.3		
16	26	55.3	0	48.25		
17	27	48.25	1	42.45		
18	28	42.45	0	35.9		
19	29	35.9	0	29.2		
20	30	29.2	3	25.35		
21	31	25.35	43	61.4		
22	32	61.4	0.1	53.9		
23	33	53.9	0.1	46.6		
24	34	46.6	4	43.05		
25	35	43.05	9	44.65		
26	36	44.65	2	38.9		
27	37	38.9	0	31.35		
28	38	31.35	0	24		
29	39	24	9	25.45		
30	40	25.45	4	22.15		

ตารางผนวกที่ 27 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	22.15	1	15.65		
2	42	15.65	0	8.65		
3	43	8.65	0	1.45		
4	44	1.45	0	-5.55		
5	45	-5.55	0	-12.45		
6	46	-12.45	2	-17.15		
7	47	-17.15	1	-22.25		
8	48	-22.25	0	-28.45		
9	49	-28.45	0	-34.45		
10	50	-34.45	0	-40.45		
11	51	-40.45	0	-46		
12	52	50	0	42.7	58.3	
13	53	42.7	0	35.15		
14	54	35.15	0	27.6		
15	55	27.6	0	20.2		
16	56	20.2	0	13.05		
17	57	13.05	0	5.75		
18	58	5.75	0	-1.25		
19	59	-1.25	0	-8.15		
20	60	-8.15	0	-14.8		
21	61	-14.8	0.3	-21.3		
22	62	-21.3	10	-18.05		
23	63	-18.05	11	-14.1		
24	64	-14.1	0	-21.25		
25	65	-21.25	0	-28.2		
26	66	-28.2	0.4	-34.35		
27	67	-34.35	62	21.8		
28	68	21.8	11	24.55		
29	69	24.55	1	17.5		
30	70	17.5	11	20.25		
31	71	20.25	0	12		
1 พ.ย.49	72	12	0	3.85		
2	73	3.85	0.1	-4		
3	74	-4	14	2.35		
4	75	2.35	1	-4.7		
5	76	-4.7	0.1	-12.35		
6	77	-12.35	0	-19.8		
7	78	-19.8	0	-27.05		
8	79	-27.05	0	-34.1		
9	80	-34.1	4.1	-36.65		

ตารางผนวกที่ 27 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	-36.65	0	-43.05		
11	82	50	0	42	57.7	
12	83	42	0	33.9		
13	84	33.9	0	25.75		
14	85	25.75	0	17.75		
15	86	17.75	0	9.6		
16	87	9.6	0	2		
17	88	2	0	-5.55		
18	89	-5.55	0	-13		
19	90	-13	0	-19.5		
20	91	-19.5	0	-25.8		
21	92	-25.8	0	-31.9		
22	93	-31.9	0	-37.9		
23	94	-37.9	0	-43.85		
24	95	50	0	42.6	57.9	
25	96	42.6	0	34.85		
26	97	34.85	0.2	27.5		
27	98	27.5	0	19.85		
28	99	19.85	0	12.2		
29	100	12.2	0	4.75		
30	101	4.75	1	-1.6		
1 ธค.49	102	-1.6	1	-7.65		
2	103	-7.65	0	-14.3		
3	104	0	0			0
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 28 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือนไข AA การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	50	0.3	43.25	64	
11	21	43.25	1	37.25		
12	22	37.25	3.8	34.05		
13	23	34.05	58.6	85.95		35.95
14	24	50	15	58.3		
15	25	58.3	4	55.15		
16	26	55.15	0	47.95		
17	27	47.95	1	42.05		
18	28	42.05	0	35.05		
19	29	35.05	0	28.15		
20	30	28.15	3	24.15		
21	31	24.15	43	60.65		
22	32	60.65	0.1	52.95		
23	33	52.95	0.1	45.35		
24	34	45.35	4	41.8		
25	35	41.8	9	43.3		
26	36	43.3	2	37.55		
27	37	37.55	0	30		
28	38	30	0	22.65		
29	39	22.65	9	24.05		
30	40	24.05	4	20.55		

ตารางผนวกที่ 28 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	20.55	1	14.05		
2	42	14.05	0	6.65		
3	43	6.65	0	-0.55		
4	44	-0.55	0	-7.75		
5	45	-7.75	0	-14.65		
6	46	-14.65	2	-19.25		
7	47	-19.25	1	-24.35		
8	48	-24.35	0	-30.55		
9	49	-30.55	0	-36.55		
10	50	-36.55	0	-42.55		
11	51	-42.55	0	-48.1		
12	52	50	0	42.6	58.6	
13	53	42.6	0	35.3		
14	54	35.3	0	27.75		
15	55	27.75	0	20.2		
16	56	20.2	0	13.05		
17	57	13.05	0	5.8		
18	58	5.8	0	-1.4		
19	59	-1.4	0	-8.4		
20	60	-8.4	0	-15.05		
21	61	-15.05	0.3	-21.9		
22	62	-21.9	10	-18.8		
23	63	-18.8	11	-14.9		
24	64	-14.9	0	-21.9		
25	65	-21.9	0	-28.85		
26	66	-28.85	0.4	-35		
27	67	-35	62	21.15		
28	68	21.15	11	23.9		
29	69	23.9	1	16.85		
30	70	16.85	11	19.6		
31	71	19.6	0	11.35		
1 พ.ย.49	72	11.35	0	3.2		
2	73	3.2	0.1	-4.65		
3	74	-4.65	14	1.7		
4	75	1.7	1	-5.35		
5	76	-5.35	0.1	-13		
6	77	-13	0	-20.45		
7	78	-20.45	0	-27.7		
8	79	-27.7	0	-34.75		
9	80	-34.75	4.1	-37.3		

ตารางผนวกที่ 28 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	-37.3	0	-43.65		
11	82	50	0	41.55	57.9	
12	83	41.55	0	33.2		
13	84	33.2	0	25.05		
14	85	25.05	0	16.9		
15	86	16.9	0	8.75		
16	87	8.75	0	1		
17	88	1	0	-6.55		
18	89	-6.55	0	-14		
19	90	-14	0	-20.75		
20	91	-20.75	0	-27.3		
21	92	-27.3	0	-33.55		
22	93	-33.55	0	-39.6		
23	94	-39.6	0	-45.55		
24	95	50	0	42.15	58.2	
25	96	42.15	0	34.4		
26	97	34.4	0.2	27.05		
27	98	27.05	0	19.4		
28	99	19.4	0	11.75		
29	100	11.75	0	4.3		
30	101	4.3	1	-2.05		
1 ธค.49	102	-2.05	1	-8.1		
2	103	-8.1	0	-14.75		
3	104	0	0			0
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 29 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เดือน มิถุนายน TT การทดลองซ้ำที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบายน
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	300	0.3	292	310	
11	21	292	1	284.7		
12	22	284.7	3.8	280.2		
13	23	280.2	58.6	331.3		31.3
14	24	300	15	307		
15	25	50	4	46.6		257
16	26	46.6	0	39.2		
17	27	39.2	1	32.1		
18	28	32.1	0	24.2		
19	29	300	0	291.7	275.8	
20	30	291.7	3	286.4		
21	31	286.4	43	321		
22	32	321	0.1	312.2		
23	33	312.2	0.1	303.5		
24	34	303.5	4	298.6		
25	35	298.6	9	298.7		
26	36	298.7	2	291.8		
27	37	291.8	0	283		
28	38	283	0	274.3		
29	39	274.3	9	274.5		
30	40	274.5	4	269.9		

ตารางผนวกที่ 29 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	269.9	1	262.2		
2	42	262.2	0	253.7		
3	43	253.7	0	245.2		
4	44	245.2	0	236.6		
5	45	236.6	0	228		
6	46	228	2	221.5		
7	47	221.5	1	214.1		
8	48	214.1	0	205.4		
9	49	205.4	0	196.6		
10	50	50	0	42		146.6
11	51	42	0	34.1		
12	52	34.1	0	25.7		
13	53	300	0	291.3	274.3	
14	54	291.3	0	282.4		
15	55	282.4	0	273.5		
16	56	273.5	0	264.9		
17	57	264.9	0	256.1		
18	58	256.1	0	247.4		
19	59	247.4	0	238.7		
20	60	238.7	0	230.1		
21	61	230.1	0.3	221.1		
22	62	221.1	10	222		
23	63	222	11	223.7		
24	64	223.7	0	214.3		
25	65	214.3	0	204.5		
26	66	204.5	0.4	195.3		
27	67	195.3	62	248.2		
28	68	248.2	11	249.4		
29	69	249.4	1	240.8		
30	70	50	11	52.1		190.8
31	71	52.1	0	43.2		
1 พ.ย.49	72	43.2	0	33.4		
2	73	33.4	0.1	23.8		
3	74	23.8	14	28.2		
4	75	28.2	1	19.4		
5	76	300	0.1	290.4		
6	77	290.4	0	280.9		
7	78	280.9	0	271.4		
8	79	271.4	0	261.9		
9	80	261.9	4.1	256.7		

ตารางผนวกที่ 29 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10 พย.49	81	256.7	0	247.3		
11	82	247.3	0	237.8		
12	83	237.8	0	228.4		
13	84	228.4	0	219.1		
14	85	219.1	0	209.8		
15	86	209.8	0	200.4		
16	87	300	0	290.7	99.6	
17	88	290.7	0	281.5		
18	89	281.5	0	272.2		
19	90	272.2	0	263.3		
20	91	263.3	0	254.3		
21	92	254.3	0	245.4		
22	93	245.4	0	236.6		
23	94	236.6	0	227.7		
24	95	227.7	0	218.6		
25	96	218.6	0	209.5		
26	97	209.5	0.2	200.7		
27	98	300	0	291	99.3	
28	99	291	0	281.9		
29	100	281.9	0	273		
30	101	273	1	265.1		
1 ธค.49	102	265.1	1	257.3		
2	103	257.3	0	248.5		
3	104	248.5	0			248.5
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 30 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไร่ TT การทดลองซ้ำที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	300	0.3	292.1	310	
11	21	292.1	1	284.8		
12	22	284.8	3.8	280.2		
13	23	280.2	58.6	331.3		31.3
14	24	300	15	307.1		
15	25	50	4	46.3		257.1
16	26	46.3	0	38.9		
17	27	38.9	1	31.9		
18	28	31.9	0	24		
19	29	300	0	291.8	276	
20	30	291.8	3	286.5		
21	31	286.5	43	321.2		
22	32	321.2	0.1	312.4		
23	33	312.4	0.1	303.8		
24	34	303.8	4	299		
25	35	299	9	299.1		
26	36	299.1	2	292.3		
27	37	292.3	0	283.6		
28	38	283.6	0	274.9		
29	39	274.9	9	275.1		
30	40	275.1	4	270.5		

ตารางผนวกที่ 30 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	270.5	1	262.8		
2	42	262.8	0	254.3		
3	43	254.3	0	245.8		
4	44	245.8	0	237.2		
5	45	237.2	0	228.7		
6	46	228.7	2	222.2		
7	47	222.2	1	214.8		
8	48	214.8	0	206.2		
9	49	206.2	0	197.4		
10	50	50	0	42		147.4
11	51	42	0	34.2		
12	52	34.2	0	25.9		
13	53	300	0	291.5	274.1	
14	54	291.5	0	282.8		
15	55	282.8	0	274		
16	56	274	0	265.5		
17	57	265.5	0	256.7		
18	58	256.7	0	248.1		
19	59	248.1	0	239.5		
20	60	239.5	0	231		
21	61	231	0.3	222		
22	62	222	10	222.9		
23	63	222.9	11	224.8		
24	64	224.8	0	215.5		
25	65	215.5	0	205.9		
26	66	205.9	0.4	196.8		
27	67	196.8	62	249.7		
28	68	249.7	11	251.1		
29	69	251.1	1	242.5		
30	70	50	11	52.3		192.5
31	71	52.3	0	43.4		
1 พ.ย.49	72	43.4	0	33.7		
2	73	33.7	0.1	24.1		
3	74	24.1	14	28.5		
4	75	28.5	1	19.8		
5	76	300	0.1	290.6		
6	77	290.6	0	281.1		
7	78	281.1	0	271.6		
8	79	271.6	0	262.1		
9	80	262.1	4.1	256.9		

ตารางผนวกที่ 30 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	256.9	0	247.6		
11	82	247.6	0	238.1		
12	83	238.1	0	228.7		
13	84	228.7	0	219.4		
14	85	219.4	0	210.1		
15	86	210.1	0	200.7		
16	87	300	0	290.9	99.3	
17	88	290.9	0	281.7		
18	89	281.7	0	272.4		
19	90	272.4	0	263.5		
20	91	263.5	0	254.5		
21	92	254.5	0	245.7		
22	93	245.7	0	236.9		
23	94	236.9	0	228		
24	95	228	0	218.9		
25	96	218.9	0	209.8		
26	97	209.8	0.2	201		
27	98	300	0	291.2	99	
28	99	291.2	0	282.1		
29	100	282.1	0	273.4		
30	101	273.4	1	265.5		
1 พค.49	102	265.5	1	257.7		
2	103	257.7	0	249		
3	104	249	0			249
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 31 การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2 เกือบไร่ TT การทดลองซ้ำที่ 3

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
22สค.49	1	0	0.1			0.1
23	2	0	0.3			0.3
24	3	0	61			61
25	4	0	37			37
26	5	0	0			0
27	6	0	0.1			0.1
28	7	0	0			0
29	8	0	0.2			0.2
30	9	0	0.2			0.2
31	10	0	2			2
1กย.49	11	0	81.8			81.8
2	12	0	0.2			0.2
3	13	0	18			18
4	14	0	0.2			0.2
5	15	0	0			0
6	16	0	0			0
7	17	0	0			0
8	18	0	0			0
9	19	0	23			23
10	20	300	0.3	292	310	
11	21	292	1	284.7		
12	22	284.7	3.8	280.1		
13	23	280.1	58.6	331.1		31.1
14	24	300	15	306.9		
15	25	50	4	46.6		256.9
16	26	46.6	0	39		
17	27	39	1	31.6		
18	28	31.6	0	23.6		
19	29	300	0	291.6	276.4	
20	30	291.6	3	286.3		
21	31	286.3	43	320.8		
22	32	320.8	0.1	312		
23	33	312	0.1	303.3		
24	34	303.3	4	298.3		
25	35	298.3	9	298.4		
26	36	298.4	2	291.5		
27	37	291.5	0	282.7		
28	38	282.7	0	273.8		
29	39	273.8	9	274		
30	40	274	4	269.4		

ตารางผนวกที่ 31 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
1 ต.ค.49	41	269.4	1	261.7		
2	42	261.7	0	253.2		
3	43	253.2	0	244.7		
4	44	244.7	0	236.1		
5	45	236.1	0	227.5		
6	46	227.5	2	221		
7	47	221	1	213.6		
8	48	213.6	0	204.7		
9	49	204.7	0	195.9		
10	50	50	0	41.8		145.9
11	51	41.8	0	33.8		
12	52	33.8	0	25.4		
13	53	300	0	291.2	274.6	
14	54	291.2	0	282.3		
15	55	282.3	0	273.3		
16	56	273.3	0	264.7		
17	57	264.7	0	255.7		
18	58	255.7	0	247		
19	59	247	0	238.3		
20	60	238.3	0	229.7		
21	61	229.7	0.3	220.8		
22	62	220.8	10	221.7		
23	63	221.7	11	223.3		
24	64	223.3	0	213.9		
25	65	213.9	0	204.1		
26	66	204.1	0.4	194.9		
27	67	194.9	62	247.8		
28	68	247.8	11	249		
29	69	249	1	240.4		
30	70	50	11	52.1		190.4
31	71	52.1	0	43.2		
1 พ.ย.49	72	43.2	0	33.4		
2	73	33.4	0.1	23.8		
3	74	23.8	14	28.2		
4	75	28.2	1	19.4		
5	76	300	0.1	290.4		
6	77	290.4	0	280.9		
7	78	280.9	0	271.4		
8	79	271.4	0	261.9		
9	80	261.9	4.1	256.7		

ตารางผนวกที่ 31 (ต่อ)

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

วันที่, i	จำนวนวัน	ระดับน้ำวันที่ i	ปริมาณฝน	ระดับน้ำวันที่ i+1	น้ำชลประทานที่ให้	น้ำที่ระบาย
10	81	256.7	0	247.3		
11	82	247.3	0	237.8		
12	83	237.8	0	228.4		
13	84	228.4	0	219.1		
14	85	219.1	0	209.8		
15	86	209.8	0	200.4		
16	87	300	0	290.7	99.6	
17	88	290.7	0	281.5		
18	89	281.5	0	272.2		
19	90	272.2	0	263.3		
20	91	263.3	0	254.3		
21	92	254.3	0	245.4		
22	93	245.4	0	236.6		
23	94	236.6	0	227.7		
24	95	227.7	0	218.6		
25	96	218.6	0	209.5		
26	97	209.5	0.2	200.7		
27	98	300	0	291	99.3	
28	99	291	0	281.9		
29	100	281.9	0	273		
30	101	273	1	265.1		
1 ธค.49	102	265.1	1	257.3		
2	103	257.3	0	248.5		
3	104	248.5	0			248.5
4	105		0			0
5	106		0			0
6	107		0			0
7	108		0			0
8	109		0			0
9	110		0			0
10	111		0			0
11	112		0			0
12	113		0			0
13	114		0			0
14	115		0			0
15	116		0			0
16	117		0			0
17	118		0			0
18	119		0.2			0.2
19	120		0.2			0.2
20	121		0			0
21	122		0.2			0.2
22	123		14			14
23	124		5			5

ตารางผนวกที่ 32 ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการจัดการน้ำต่างๆในนาข้าวฤดูที่ 1

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 1														
	SSI			SA1			AS1			AA1			TT1		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงต้นฤดู	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8
ปริมาณน้ำที่ระบายระหว่างฤดู	143.5	143.2	143.6	74.3	74.5	74.9	143.5	144.4	145	0	0	0	693.4	695.3	693.8
ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งก่อนเก็บเกี่ยว	81	81	81	28.7	29	29.2	81	81	81.3	44.6	44.3	45.7	288.3	288.6	288.4
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงปลายฤดู	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6	258.6
ปริมาณน้ำในการคายระเหยและรั่วซึม	730.5	727.3	728.5	660	657.3	656.3	643.3	639.3	636	577.6	580.3	575.5	795.2	792.6	794.2
ปริมาณน้ำทั้งหมด	515.9	515.6	516	394.4	394.9	395.5	515.9	516.8	517.7	336	335.7	337.1	1273.1	1275.3	1274
ปริมาณน้ำชลประทาน	517.7	514.2	515.8	325.7	323.5	323.1	430.5	427.4	425	184.9	187.3	183.9	1321.6	1321.2	1321
ปริมาณน้ำฝนใช้การ	311.8	312.1	311.7	381	380.8	380.4	311.8	310.9	310.3	455.3	455.3	455.3	413.7	413.3	413.5
ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด	829.5	826.3	827.5	706.7	704.3	703.5	742.3	738.3	735.3	640.2	642.6	639.2	795.2	792.6	794.2

ตารางผนวกที่ 33 ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการจัดการน้ำต่างๆในนาข้าวฤดูที่ 2

(ระดับน้ำเป็นมิลลิเมตร)

	การจัดการน้ำในนาข้าวฤดูที่ 2														
	SS2			SA2			AS2			AA2			TT2		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงต้นฤดู	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1	224.1
ปริมาณน้ำที่ระบายระหว่างฤดู	66.8	68.1	66.4	34.9	35.3	34.5	68.4	69.3	67.9	36.5	36.6	36	625.7	628.3	624.3
ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งก่อนเก็บเกี่ยว	84.8	85	84.8	0	0	0	84.8	84.9	84.4	0	0	0	248.5	249	248.5
ปริมาณน้ำฝนที่ระบายช่วงปลายฤดู	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6
ปริมาณน้ำในการคายระเหยและรั่วซึม	695.8	689.1	698.1	537.7	534.5	542.2	648.6	644	654.1	493.3	488.4	492.9	755.5	751.4	794.2
ปริมาณน้ำทั้งหมด	395.3	396.8	394.9	278.6	279	278.2	396.9	397.9	396	280.2	280.3	279.7	1118	1121	1117
ปริมาณน้ำชลประทาน	557.3	552.1	559.2	282.5	279.7	286.6	511.7	508.1	516.3	239.7	234.9	238.7	1059	1058.4	1060
ปริมาณน้ำฝนใช้การ	223.3	222	223.7	255.2	254.8	255.6	221.7	220.8	222.2	253.6	253.5	254.2	258.8	258.8	259
ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด	780.6	774.1	782.9	537.7	534.5	542.2	733.4	728.9	738.5	493.3	488.4	492.9	1318	1317.2	1319

ตารางผนวกที่ 34 ปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายจากเงื่อนไขการจัดการน้ำต่างๆในนาข้าวฤดูที่ 1

(ปริมาณมีเทนเป็น $\text{mg m}^{-2}\text{hr}^{-1}$)

วัน-เดือน	จำนวนวัน หลังหว่าน	เงื่อนไขการจัดการน้ำ														
		SS1			SA1			AS1			AA1			TT1		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
9-มี.ค.	1	0.23	0.16	0.20	0.17	0.22	0.20	0.17	0.21	0.21	0.23	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20
16-มี.ค.	8	3.03	3.34	2.96	3.12	3.13	3.05	3.08	3.03	3.16	3.15	3.06	2.99	3.06	3.15	3.09
29-มี.ค.	21	5.53	5.68	5.21	5.55	5.16	5.68	5.66	5.63	5.54	5.47	5.40	5.43	5.58	5.41	5.49
10-เม.ย.	33	12.88	12.79	12.57	12.69	12.58	12.75	8.82	8.41	8.50	8.68	8.64	8.51	15.85	15.95	15.88
26-เม.ย.	49	16.58	16.23	15.88	16.31	16.50	16.31	6.48	6.21	5.94	6.29	6.27	6.25	19.60	19.47	19.52
17-พ.ค.	70	14.01	13.54	12.83	7.17	7.26	6.89	6.23	5.87	5.97	0.20	0.30	0.28	21.66	21.48	21.58
25-พ.ค.	78	13.91	14.82	15.04	3.93	4.16	3.26	7.76	7.44	7.38	0.34	0.31	0.29	22.81	22.55	22.69
8-มิ.ย.	92	12.01	11.52	10.77	3.23	2.99	2.95	6.32	5.28	5.90	0.33	0.31	0.10	23.48	23.37	23.44
19-มิ.ย.	103	13.20	13.90	14.66	2.79	2.57	2.57	4.30	4.08	3.99	0.20	0.32	0.18	25.20	25.02	25.10
25-มิ.ย.	117	8.88	9.25	9.68	1.40	1.50	1.51	2.65	2.34	2.65	0.21	0.19	0.18	18.88	17.91	18.37
10-ก.ค.	124	4.95	5.62	5.70	0.91	0.97	1.02	1.93	1.87	2.15	0.21	0.11	0.00	8.85	8.43	8.65

ตารางผนวกที่ 35 ปริมาณมีเทนที่แพร่กระจายจากเงื่อนไขการจัดการน้ำต่างๆในนาข้าวฤดูที่ 2

(ปริมาณมีเทนเป็น $\text{mg m}^{-2}\text{hr}^{-1}$)

วัน-เดือน	จำนวนวัน หลังหว่าน	เงื่อนไขการจัดการน้ำ														
		SS2			SA2			AS2			AA2			TT2		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
22-ส.ค.	1	0.163	0.32	0.20	0.34	0.22	0.20	0.241	0.15	0.295	0.232	0.215	0.29	0.288	0.203	0.245
29-ส.ค.	8	2.382	2.38	2.46	2.46	2.41	2.53	2.506	2.43	2.459	2.567	2.465	2.43	2.472	2.421	2.48
15-ก.ย.	25	7.381	7.31	7.08	7.32	7.12	7.08	5.979	5.8	5.813	6.156	5.883	5.63	7.604	7.48	7.53
26-ก.ย.	36	11.84	11.98	11.93	11.85	11.93	11.74	5.214	4.87	4.826	5.253	5.041	4.76	15.26	15.21	15.22
13-ต.ค.	53	10.01	9.86	9.40	9.23	8.68	8.52	3.467	3.18	2.824	3.087	2.863	3	17.14	16.95	17.08
1-พ.ย.	72	8.017	8.19	8.03	3.06	2.96	2.77	3.13	2.9	2.859	0.2	0.186	0.29	17.52	17.55	17.55
15-พ.ย.	86	9.462	8.86	8.28	2.08	2.12	1.96	5.369	5.16	4.848	0.204	0.313	0.29	18.89	18.78	18.82
29-พ.ย.	100	11.86	11.95	11.40	2.27	2.11	1.96	4.338	3.54	3.614	0.338	0.315	0.29	20.58	20.38	20.47
8-ธ.ค.	108	8.148	8.25	7.92	1.88	1.61	2.06	3.354	2.95	2.874	0.346	0.107	0.18	22.52	22.43	22.48
17-ธ.ค.	117	4.981	5.08	4.86	1.18	1.28	1.18	2.14	1.89	2.133	0.207	0	0.18	12.27	12.38	12.31
23-ธ.ค.	124	4.07	3.774	3.8224	0.693	0.829	0.772	1.084	1.09	1.058	0.034	0	0	5.584	5.667	5.64

ตารางผนวกที่ 36 ความเข้มข้นของไนเตรทในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1

(มิลลิกรัม/ลิตร)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คล่องส่งน้ำ		คล่องระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง		แปลงเกษตรกร		
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
16 มี.ค. 49	8	2.3	2.7	7.7	6.3	8.6	5.8	-	-	-	-	-	3.9	3.7	3.8	3.7	3.8
29 มี.ค. 49	21	4.1	4.4	4.7	5	5.2	4.5	4.4	4.5	4.6	4.5	4.6	3.5	3.6	3.1	3.3	3.7
10 เม.ย. 49	33	7.3	5.6	8	7.1	7.3	6.6	8.7	8.9	10.7	9.6	11.6	3.8	3.9	3.3	3.2	5.4
26 เม.ย. 49	49	18.0	15.8	15.4	14.5	13.6	15.0	10.6	14.1	21.1	23.0	15.4	3.5	3.5	3.1	2.9	5.6
17 พ.ค. 49	70	22.4	33.0	23.8	20.7	17.9	19.4	11.4	12.3	10.1	34.8	28.2	4.1	3.6	3.9	3.2	11.8
8 มิ.ย. 49	92	26.8	11.4	8.8	7.9	8.8	9.7	9.7	16.8	18.0	26.0	5.4	4.7	3.5	4.2	3.0	15.8
10 ก.ค. 49	124	-	-	14.1	11.4	11.0	22.0	-	-	-	-	-	3.6	2.9	3.1	2.4	9.3

ตารางผนวกที่ 37 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1

(มิลลิกรัม/ลิตร)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คล่องส่งน้ำ		คล่องระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
16 มี.ค. 49	8	0.13	0.15	0.32	0.51	0.38	0.45	-	-	-	-	-	0.13	0.18	0.24	0.16	0.23
29 มี.ค. 49	21	0.12	0.13	0.42	0.58	0.33	0.41	0.46	0.63	0.4	0.3	0.47	0.12	0.11	0.1	0.11	0.35
10 เม.ย. 49	33	0.16	0.14	0.4	0.38	0.3	0.38	0.88	0.82	0.47	0.49	0.29	0.22	0.24	0.13	0.15	0.31
26 เม.ย. 49	49	0.13	0.12	0.31	0.36	0.24	0.25	0.32	0.32	0.71	0.24	0.38	0.2	0.2	0.12	0.11	0.24
17 พ.ค. 49	70	0.66	0.48	0.55	0.49	0.49	0.74	0.29	0.34	0.29	0.57	0.33	0.26	0.21	0.23	0.18	0.28
8 มิ.ย. 49	92	0.36	0.44	1.85	0.45	1.5	0.55	0.34	0.4	0.56	0.39	0.31	0.34	0.22	0.29	0.25	0.39
10 ก.ค. 49	124	-	-	1.38	33.7	33.1	35.1	-	-	-	-	-	0.22	0.17	0.23	0.21	0.35

ตารางผนวกที่ 38 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1

(มิลลิกรัม/ลิตร)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
16 มี.ค. 49	8	0.13	0.07	0.06	0.10	0.29	0.12	-	-	-	-	-	0.16	0.17	0.15	0.11	0.15
29 มี.ค. 49	21	0.07	0.07	0.08	0.20	0.09	0.11	0.36	0.23	0.26	0.29	0.35	0.14	0.14	0.12	0.13	0.73
10 เม.ย. 49	33	0.16	0.14	0.16	0.52	0.28	0.38	0.38	0.36	0.37	0.40	0.29	0.27	0.25	0.15	0.15	1.20
26 เม.ย. 49	49	0.63	0.55	0.50	0.49	0.50	0.59	0.42	0.52	0.46	0.35	0.68	0.23	0.24	0.13	0.12	0.86
17 พ.ค. 49	70	0.17	0.26	0.08	0.22	0.34	0.33	0.11	0.20	0.15	0.28	0.22	0.19	0.18	0.11	0.09	0.63
8 มิ.ย. 49	92	0.26	0.29	0.45	0.38	0.47	0.29	0.27	0.20	0.35	0.32	0.23	0.16	0.14	0.08	0.08	0.36
10 ก.ค. 49	124	-	-	0.15	0.35	0.35	0.38	-	-	-	-	-	0.13	0.13	0.06	0.06	0.15

ตารางผนวกที่ 39 ค่า pH ในแหล่งน้ำต่างๆ จุดที่ 1

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
16 มี.ค. 49	8	7.3	7.4	6.72	6.75	7.12	7.04	-	-	-	-	-	7.4	7.5	7.3	7.4	7.6
29 มี.ค. 49	21	7.5	7.6	6.9	6.91	6.85	6.8	7.8	7.7	7.75	7.71	7.73	7.43	7.51	7.54	7.49	7.57
10 เม.ย. 49	33	7.7	7.73	7	6.93	6.9	6.94	8.72	8.77	8.68	8.63	8.65	7.8	7.7	7.26	7.33	6.98
26 เม.ย. 49	49	7.88	7.96	7.19	6.79	6.77	6.86	8.14	8.27	8.18	8.24	8.11	7.5	7.3	7.12	7.15	7.12
17 พ.ค. 49	70	7.6	7.61	6.71	6.46	6.48	6.55	8.35	8.3	8.31	8.45	8.29	7.64	7.06	7.17	7.01	6.91
8 มิ.ย. 49	92	7.95	7.9	6.91	6.53	6.84	6.92	8.92	8.83	8.93	8.91	8.78	7.7	7.2	7.34	7.03	6.93
10 ก.ค. 49	124	-	-	6.82	6.93	6.9	6.97	-	-	-	-	-	7.4	7.19	7.35	6.98	6.87

ตารางผนวกที่ 40 ค่า BOD ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คล่องส่งน้ำ		คล่องระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
16 มี.ค. 49	8	0.56	0.42	1.35	1.15	1.6	1.79	-	-	-	-	-	0.45	0.39	0.51	0.48	0.41
29 มี.ค. 49	21	0.61	0.65	1.42	0.86	0.95	1.02	0.43	0.51	0.39	0.48	0.57	0.31	0.28	0.37	0.34	0.74
10 เม.ย. 49	33	0.33	0.39	0.89	0.5	0.8	0.74	1.44	1.36	0.81	0.75	1.19	0.64	0.73	0.39	0.35	0.93
26 เม.ย. 49	49	0.16	0.32	0.26	0.18	0.43	0.54	1.68	0.95	0.85	0.74	1.06	0.71	0.8	0.42	0.39	0.78
17 พ.ค. 49	70	0.21	0.41	0.78	0.53	0.77	0.61	0.81	0.54	0.62	0.49	0.73	0.75	0.64	0.57	0.41	1.25
8 มิ.ย. 49	92	0.33	0.27	0.79	0.45	0.71	0.5	1.16	0.87	0.94	0.81	0.92	0.81	0.67	0.76	0.45	0.98
10 ก.ค. 49	124	-	-	1.14	2.97	3.22	3.03	-	-	-	-	-	0.63	0.42	0.51	0.33	1.06

ตารางผนวกที่ 41 ค่าอุณหภูมิในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1

(องศาเซลเซียส)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง		แปลงเกษตรกร		
													ก.1	ก.2	ก.3	ก.4	ก.5
16 มี.ค. 49	8	28.6	28.5	28.6	28.9	28.9	28.8	-	-	-	-	-	30.2	30.3	30.3	30.3	30.2
29 มี.ค. 49	21	29.5	29.6	29.4	29.3	29.4	29.3	32.1	32.2	32.3	32.3	32	31.9	32	32.1	32.1	31.8
10 เม.ย. 49	33	30.8	31	31.1	31.3	30.9	31	33.1	33.2	33.9	34	33.4	33.6	33.8	33.5	33.4	33.5
26 เม.ย. 49	49	31.00	30.8	30.7	30.8	31	31.4	32.8	32.9	32.7	33.2	32.4	32.3	32.4	32.5	32.5	32.3
17 พ.ค. 49	70	29.8	29.6	30.2	29.2	29.4	29.9	33.3	33.1	33.3	33.2	32.8	31.1	31.5	31.2	31.4	30.8
8 มิ.ย. 49	92	29.3	29.2	31	31.1	31.1	31.3	33.2	32.9	32.8	33.1	32.9	32.1	32.7	32.4	32.6	31.8
10 ก.ค. 49	124	-	-	29.2	29.1	28.8	28.9	-	-	-	-	-	30.1	30.3	30.2	30.3	30.1

ตารางผนวกที่ 42 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ(EC) ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 1

(ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
16 มี.ค. 49	8	220	200	910	920	1083	1130	-	-	-	-	-	165	169	158	154	159
29 มี.ค. 49	21	230	210	781	795	786	791	115	117	118	116	119	155	151	149	146	155
10 เม.ย. 49	33	250	180	410	480	490	480	180	180	190	180	310	164	167	135	139	186
26 เม.ย. 49	49	260	198	650	500	485	493	226	224	227	226	395	171	178	152	143	181
17 พ.ค. 49	70	229	207	441	456	459	471	191	189	188	190	189	168	143	148	139	197
8 มิ.ย. 49	92	215	208	958	486	892	450	189	186	194	195	197	155	159	154	135	194
10 ก.ค. 49	124	-	-	982	554	917	592	-	-	-	-	-	148	134	146	117	256

ตารางผนวกที่ 43 ความเข้มข้นของไนเตรตในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2

(มิลลิกรัม/ลิตร)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คล่องส่งน้ำ		คล่องระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ					
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA		TT	แปลงทดลอง			แปลงเกษตรกร	
														ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
22 ส.ค. 49	1	2.4	2.5	19.5	22.3	7.4	23.7	-	-	-	-	-	2.8	2.7	2.9	2.8	2.9	
29 ส.ค. 49	8	2.7	2.6	21.1	26.6	9.7	25.5	-	-	-	-	-	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8	
26 ก.ย. 49	25	2.6	2.5	10.3	12.3	5.2	14.3	4.9	5.3	3.6	3.8	3.2	3.8	3.6	2.6	2.7	4.1	
16 ก.ย. 49	36	2.8	3.7	2.6	2.1	2.8	6.9	5.8	8.9	4.8	3.0	3.4	4.3	4.2	2.4	2.5	5.5	
13 ต.ค. 49	53	2.9	3.2	3.7	2.6	3.5	5.1	3.4	2.8	3.6	2.8	2.2	4.3	3.9	2.7	2.3	7.4	
1 พ.ย. 49	72	2.6	2.4	1.5	1.4	1.0	1.2	2.0	2.0	2.1	2.2	1.5	4.5	3.2	3.0	2.4	6.3	
15 พ.ย. 49	86	2.2	3.1	1.6	1.6	2.0	1.6	2.0	2.0	2.0	1.8	2.1	3.8	3.1	3.3	2.6	6.7	
29 พ.ย. 49	100	2.0	2.1	1.9	1.8	2.1	1.7	2.0	2.9	1.9	3.2	2.2	3.3	2.9	3.0	2.3	7.2	
8 ธ.ค. 49	108	2.9	2.8	3.9	4.3	4.1	4.5	-	-	-	-	-	3.1	2.4	2.7	2.1	5.9	
17 ธ.ค. 49	117	-	-	4.7	4.5	4.9	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23 ธ.ค. 49	124	-	-	4.8	5.1	5.3	6.4	-	-	-	-	-	2.8	2.0	2.3	1.7	4.2	

ตารางผนวกที่ 44 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2

(มิลลิกรัม/ลิตร)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คล่องส่งน้ำ		คล่องระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
22 ส.ค. 49	1	0.22	0.23	0.57	0.49	0.53	0.62	-	-	-	-	-	0.23	0.22	0.24	0.22	0.23
29 ส.ค. 49	8	0.19	0.18	0.38	0.38	0.38	0.41	-	-	-	-	-	0.17	0.16	0.18	0.17	0.18
26 ก.ย. 49	25	0.17	0.16	0.64	0.69	0.65	0.58	0.51	0.57	0.53	0.64	0.68	0.25	0.23	0.16	0.17	0.26
16 ก.ย. 49	36	0.17	0.25	0.45	0.34	0.34	0.72	0.38	0.25	0.32	0.25	0.42	0.26	0.25	0.15	0.15	0.34
13 ต.ค. 49	53	0.18	0.17	0.63	0.58	0.67	0.53	0.25	0.21	0.24	0.21	0.39	0.28	0.23	0.17	0.14	0.46
1 พ.ย. 49	72	0.17	0.14	0.47	0.46	0.46	0.39	0.14	0.17	0.15	0.16	0.36	0.27	0.20	0.18	0.15	0.39
15 พ.ย. 49	86	0.13	0.18	0.28	0.42	0.30	0.58	0.43	0.27	0.20	0.15	0.80	0.25	0.18	0.21	0.16	0.41
29 พ.ย. 49	100	0.23	0.24	0.65	0.58	0.60	0.62	0.23	0.34	0.17	0.14	0.63	0.22	0.17	0.19	0.14	0.45
8 ธ.ค. 49	108	0.22	0.23	0.82	0.77	0.69	0.74	-	-	-	-	-	0.18	0.14	0.16	0.13	0.37
17 ธ.ค. 49	117	no	no	0.71	0.65	0.62	0.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 ธ.ค. 49	124	no	no	0.63	0.59	0.55	0.51	-	-	-	-	-	0.17	0.13	0.14	0.11	0.26

ตารางผนวกที่ 45 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2

(มิลลิกรัม/ลิตร)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คล่องส่งน้ำ		คล่องระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
22 ส.ค. 49	1	0.29	0.31	0.75	0.62	0.44	0.67	-	-	-	-	-	0.21	0.20	0.22	0.21	0.22
29 ส.ค. 49	8	0.28	0.32	0.91	0.48	0.52	0.57	-	-	-	-	-	0.19	0.17	0.18	0.17	0.18
26 ก.ย. 49	25	0.27	0.35	0.89	0.65	0.43	0.61	0.28	0.29	0.27	0.31	0.33	0.24	0.23	0.21	0.22	0.29
16 ก.ย. 49	36	0.28	0.38	0.28	0.42	0.45	0.43	0.25	0.28	0.28	0.33	1.87	0.21	0.24	0.20	0.21	0.35
13 ต.ค. 49	53	0.29	0.31	0.31	0.45	0.47	0.40	0.27	0.26	0.29	0.28	0.74	0.18	0.16	0.17	0.17	0.46
1 พ.ย. 49	72	0.31	0.23	0.46	0.39	0.41	0.49	0.22	0.26	0.26	0.26	0.18	0.15	0.13	0.14	0.13	0.39
15 พ.ย. 49	86	0.22	0.21	0.22	0.47	0.44	0.57	0.23	0.24	0.29	0.24	0.26	0.13	0.12	0.12	0.11	0.31
29 พ.ย. 49	100	0.23	0.24	0.43	0.58	0.60	0.62	0.21	0.22	0.23	0.20	0.24	0.11	0.09	0.10	0.08	0.25
8 ธ.ค. 49	108	0.22	0.21	0.38	0.45	0.62	0.57	-	-	-	-	-	0.10	0.09	0.10	0.07	0.43
17 ธ.ค. 49	117	-	-	0.29	0.33	0.31	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 ธ.ค. 49	124	-	-	0.26	0.29	0.31	0.28	-	-	-	-	-	0.09	0.08	0.09	0.07	0.26

ตารางผนวกที่ 46 ค่า pH ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร TT	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA		แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร ค.5
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	
22 ส.ค. 49	1	7.18	7.22	6.28	6.32	6.22	6.35	-	-	-	-	-	7.08	7.10	7.13	7.09	7.01
29 ส.ค. 49	8	7.31	7.29	6.43	6.48	6.34	6.49	-	-	-	-	-	7.11	7.09	7.02	7.14	7.07
26 ก.ย. 49	25	7.54	7.47	6.63	6.71	6.61	6.72	6.74	6.71	6.83	6.79	6.70	7.23	7.15	7.12	7.10	6.97
16 ก.ย. 49	36	7.66	7.92	6.42	6.36	6.42	6.88	6.72	7.04	7.35	7.09	6.23	7.32	7.28	7.23	7.25	6.91
13 ต.ค. 49	53	7.43	7.36	6.31	6.29	6.35	6.54	6.61	6.70	6.57	6.65	6.51	7.18	7.22	7.15	7.24	6.73
1 พ.ย. 49	72	7.24	7.19	6.38	6.40	6.33	6.49	6.73	6.84	6.81	6.63	6.54	7.12	7.20	7.17	7.23	6.64
15 พ.ย. 49	86	7.13	7.30	6.33	6.53	6.42	6.51	6.83	6.87	7.09	6.57	6.87	7.09	7.18	7.14	7.21	6.71
29 พ.ย. 49	100	7.17	7.26	6.27	6.42	6.48	6.46	6.58	6.34	6.50	6.44	6.10	7.13	7.21	7.15	7.24	6.54
8 ธ.ค. 49	108	7.21	7.19	6.24	6.28	6.19	6.31	-	-	-	-	-	7.04	7.14	7.11	7.18	6.39
17 ธ.ค. 49	117	-	-	6.32	6.27	6.34	6.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 ธ.ค. 49	124	-	-	6.41	6.33	6.39	6.35	-	-	-	-	-	7.09	7.12	7.11	7.15	6.78

ตารางผนวกที่ 47 ค่า BOD ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
22 ส.ค. 49	1	0.25	0.27	1.08	0.64	0.72	0.81	-	-	-	-	-	0.27	0.24	0.28	0.29	0.31
29 ส.ค. 49	8	0.22	0.19	0.91	0.48	0.52	0.66	-	-	-	-	-	0.26	0.22	0.24	0.27	0.24
26 ก.ย. 49	25	0.23	0.26	1.18	0.57	0.79	0.74	0.92	0.97	1.03	1.14	0.82	0.21	0.19	0.18	0.20	0.32
16 ก.ย. 49	36	0.55	0.27	1.27	0.33	0.87	0.64	0.64	0.61	0.86	0.82	0.66	0.25	0.24	0.23	0.24	0.39
13 ต.ค. 49	53	0.41	0.31	0.92	0.46	0.84	0.76	0.87	0.59	0.60	0.93	0.91	0.41	0.27	0.34	0.26	0.64
1 พ.ย. 49	72	0.54	0.34	0.68	0.72	0.73	0.73	0.47	0.40	0.71	0.32	1.08	0.37	0.26	0.35	0.23	0.73
15 พ.ย. 49	86	0.14	0.35	0.20	0.84	0.25	0.45	0.59	0.69	0.55	0.62	1.38	0.38	0.29	0.37	0.24	0.66
29 พ.ย. 49	100	0.30	0.37	0.21	0.27	0.89	0.43	0.93	0.73	0.43	0.34	1.45	0.41	0.26	0.37	0.21	0.69
8 ธ.ค. 49	108	0.28	0.31	0.52	0.44	0.93	0.78	-	-	-	-	-	0.37	0.28	0.29	0.23	0.75
17 ธ.ค. 49	117	-	-	0.56	0.40	0.79	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 ธ.ค. 49	124	-	-	0.34	0.36	0.51	0.63	-	-	-	-	-	0.33	0.24	0.28	0.19	0.68

ตารางผนวกที่ 48 ค่าอุณหภูมิต่างๆ ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2

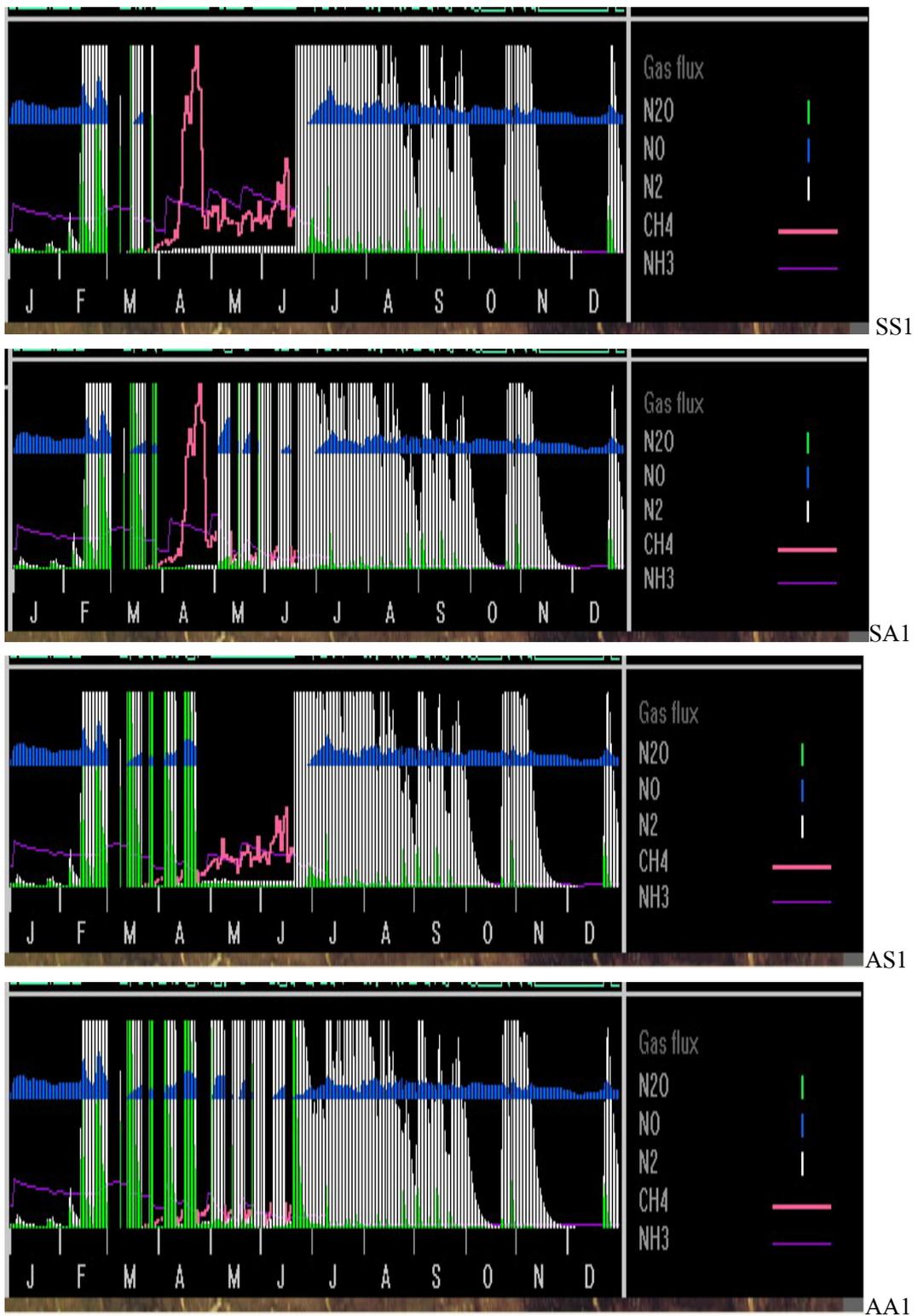
(องศาเซลเซียส)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA	TT	แปลงทดลอง				แปลงเกษตรกร
													ค.1	ค.2	ค.3	ค.4	ค.5
22 ส.ค. 49	1	28.5	28.6	28.4	28.3	28.4	28.0	-	-	-	-	-	28.3	28.3	28.4	28.3	28.2
29 ส.ค. 49	8	29.2	29.3	29.1	29.2	29.3	28.9	-	-	-	-	-	29.0	29.1	29.0	28.9	28.9
26 ก.ย. 49	25	27.8	27.9	27.4	27.6	27.9	27.5	27.9	27.8	28.0	27.9	27.8	27.7	27.7	27.7	27.8	27.6
16 ก.ย. 49	36	27.6	27.8	27.4	27.5	27.8	27.3	27.8	27.7	27.9	28.0	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.5
13 ต.ค. 49	53	29.5	29.6	29.4	29.3	29.4	29.1	29.5	29.6	29.6	29.7	29.8	29.4	29.5	29.5	29.4	29.3
1 พ.ย. 49	72	28.4	28.3	28.1	28.1	28.2	28.0	28.4	28.5	28.3	28.6	28.4	28.3	28.4	28.3	28.3	28.3
15 พ.ย. 49	86	27.0	27.1	27.2	27.1	27.0	27.0	27.1	27.3	27.2	27.4	27.0	27.0	27.1	27.0	27.0	27.0
29 พ.ย. 49	100	26.6	26.6	26.5	26.5	26.4	26.4	26.6	26.7	26.7	26.8	26.7	26.6	26.7	26.7	26.6	26.4
8 ธ.ค. 49	108	29.8	29.7	30.5	30.8	30.9	30.4	-	-	-	-	-	30.5	30.6	30.5	30.5	30.3
17 ธ.ค. 49	117	-	-	27.8	27.9	28.1	27.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 ธ.ค. 49	124	-	-	26.8	26.9	27.0	26.9	-	-	-	-	-	26.9	27.0	26.9	26.9	26.7

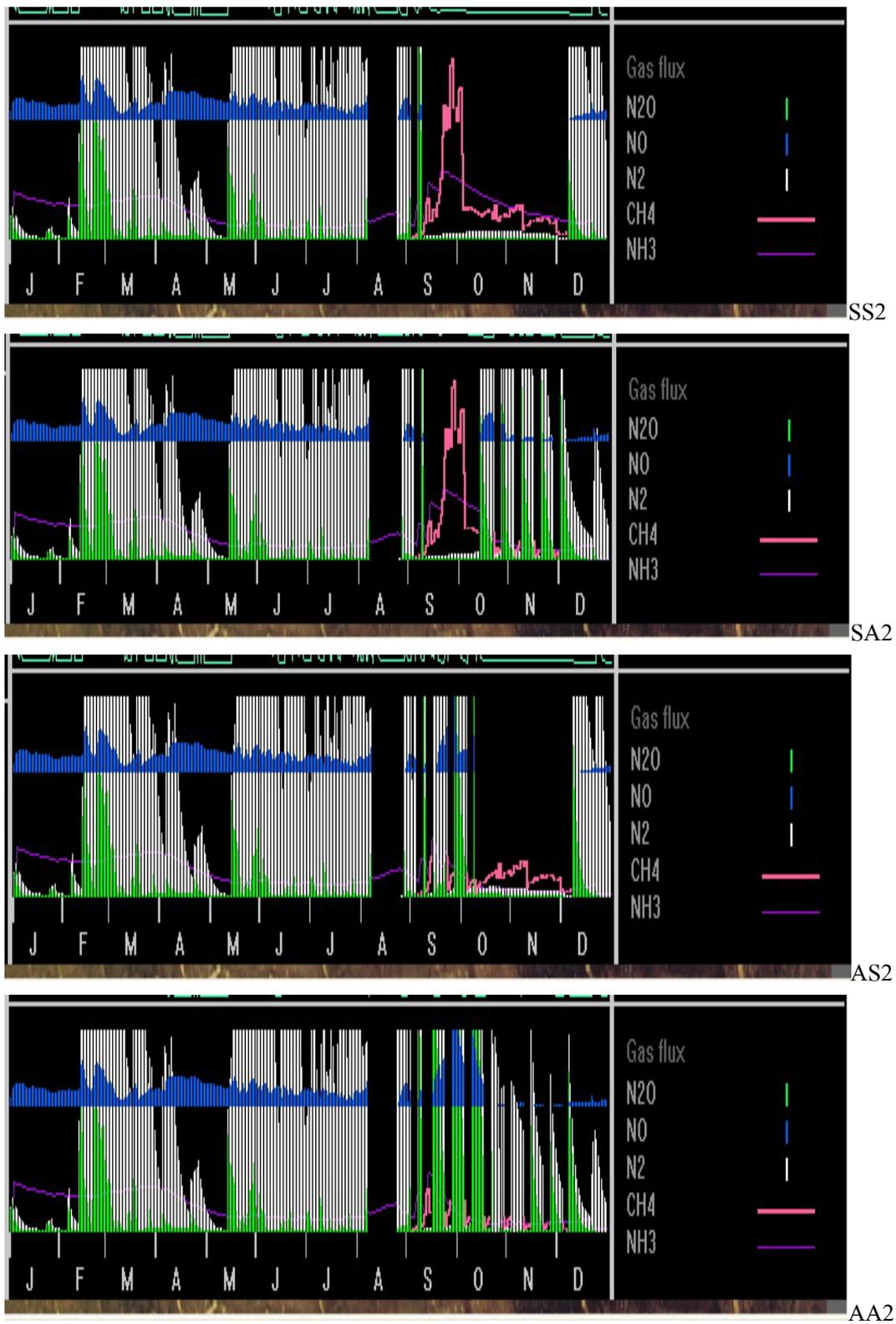
ตารางผนวกที่ 49 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) ในแหล่งน้ำต่างๆ ฤดูที่ 2

(ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)

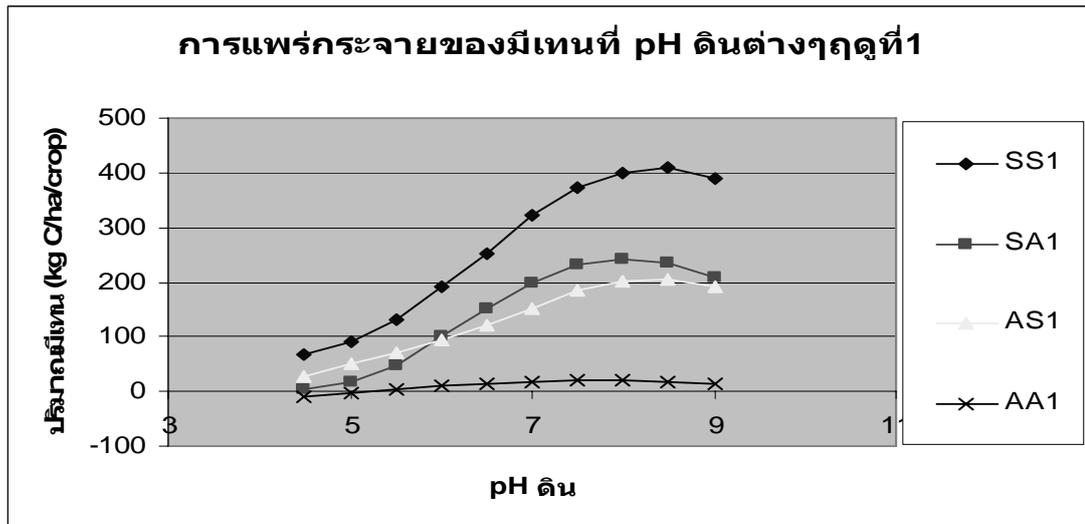
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน หลังหว่าน	คลองส่งน้ำ		คลองระบายน้ำ				แปลงนาทดลอง				แปลงนาเกษตรกร TT	คูระบายน้ำ				
		ส.1	ส.2	ร.1	ร.2	ร.3	ร.4	SS	SA	AS	AA		แปลงทดลอง			แปลงเกษตรกร ค.5	
													ค.1	ค.2	ค.3		ค.4
22 ส.ค. 49	1	275	264	882	781	739	680	-	-	-	-	-	283	278	269	275	281
29 ส.ค. 49	8	281	289	914	802	790	714	-	-	-	-	-	231	242	229	233	239
26 ก.ย. 49	25	293	284	972	795	776	692	212	223	227	231	208	206	210	201	198	224
16 ก.ย. 49	36	286	277	995	787	743	471	268	261	267	269	278	194	202	187	183	221
13 ต.ค. 49	53	247	231	964	780	724	613	246	277	255	263	274	205	198	199	188	248
1 พ.ย. 49	72	264	273	1012	735	718	674	296	270	281	248	293	210	197	206	192	251
15 พ.ย. 49	86	250	297	1087	678	627	614	311	266	240	230	306	219	201	215	184	243
29 พ.ย. 49	100	238	226	673	580	600	618	254	238	244	239	292	211	195	217	189	247
8 ธ.ค. 49	108	242	256	991	873	852	736	-	-	-	-	-	207	187	202	193	277
17 ธ.ค. 49	117	-	-	927	881	879	802	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 ธ.ค. 49	124	-	-	867	803	792	786	-	-	-	-	-	213	191	208	184	262



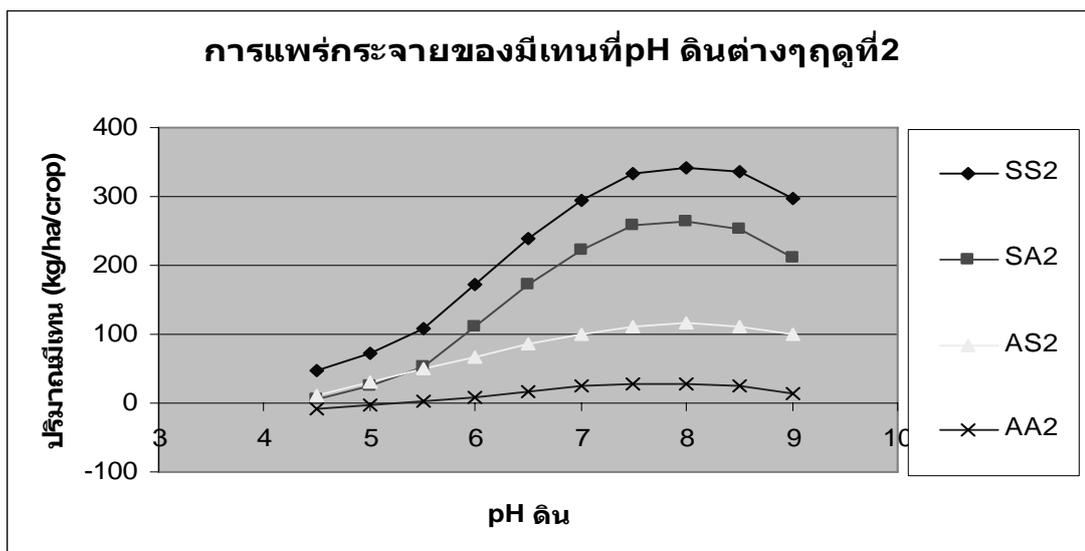
ภาพผนวกที่ 1 การแพร่กระจายของมีเทนที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆในแต่ละการจัดการน้ำฤดูที่1 จากแบบจำลองDNDC



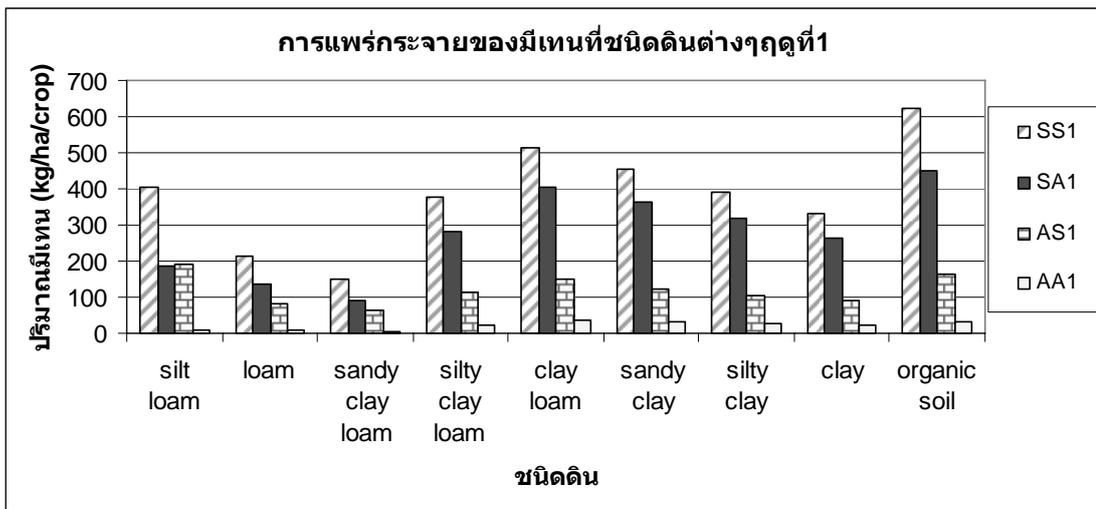
ภาพผนวกที่ 2 การแพร่กระจายของมีเทนที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆในแต่ละการจัดการน้ำฤดูที่ 2 จากแบบจำลองDNDC



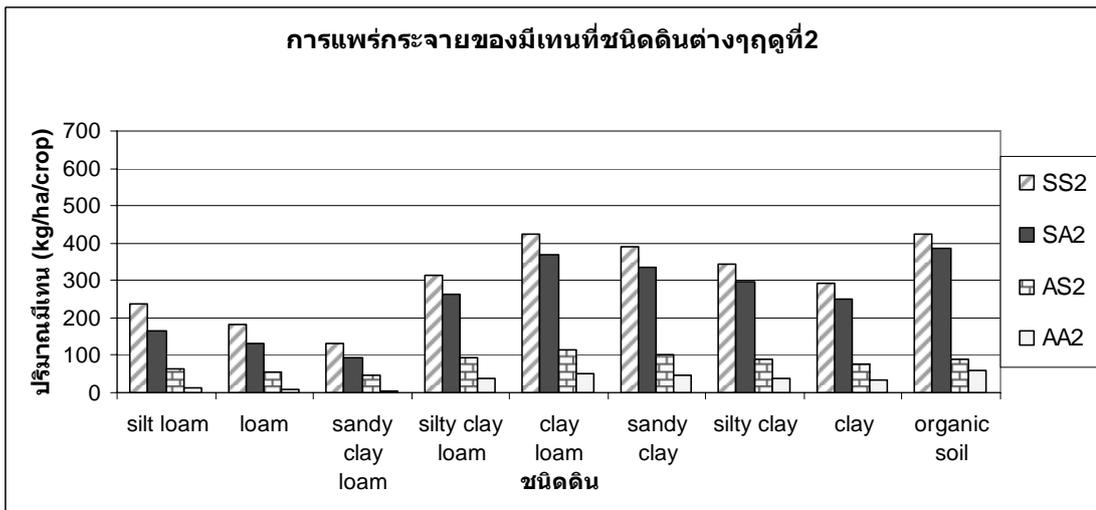
ภาพผนวกที่ 3 การแพร่กระจายของมีเทนที่ pH ดินต่างๆ ฤดูที่1 จากแบบจำลอง DNDC



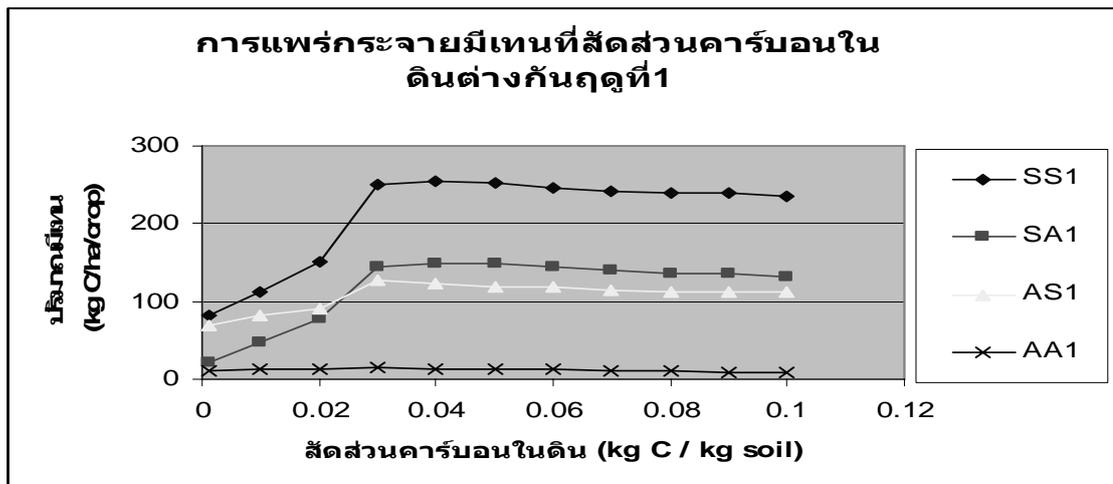
ภาพผนวกที่ 4 การแพร่กระจายของมีเทนที่ pH ดินต่างๆ ฤดูที่2 จากแบบจำลอง DNDC



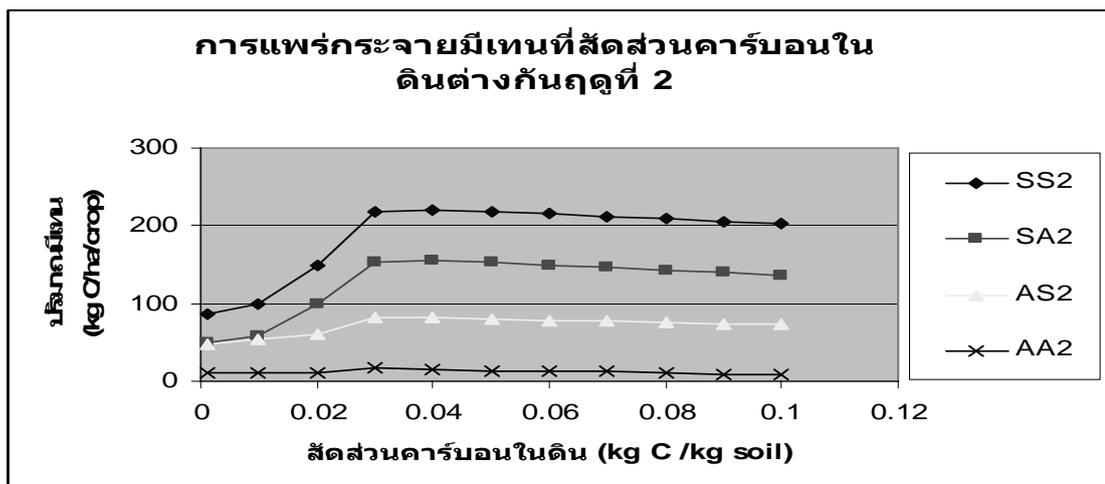
ภาพผนวกที่ 5 การแพร่กระจายของมีเทนที่ชนิดดินต่างๆ ฤดูที่ 1 จากแบบจำลอง DNDC



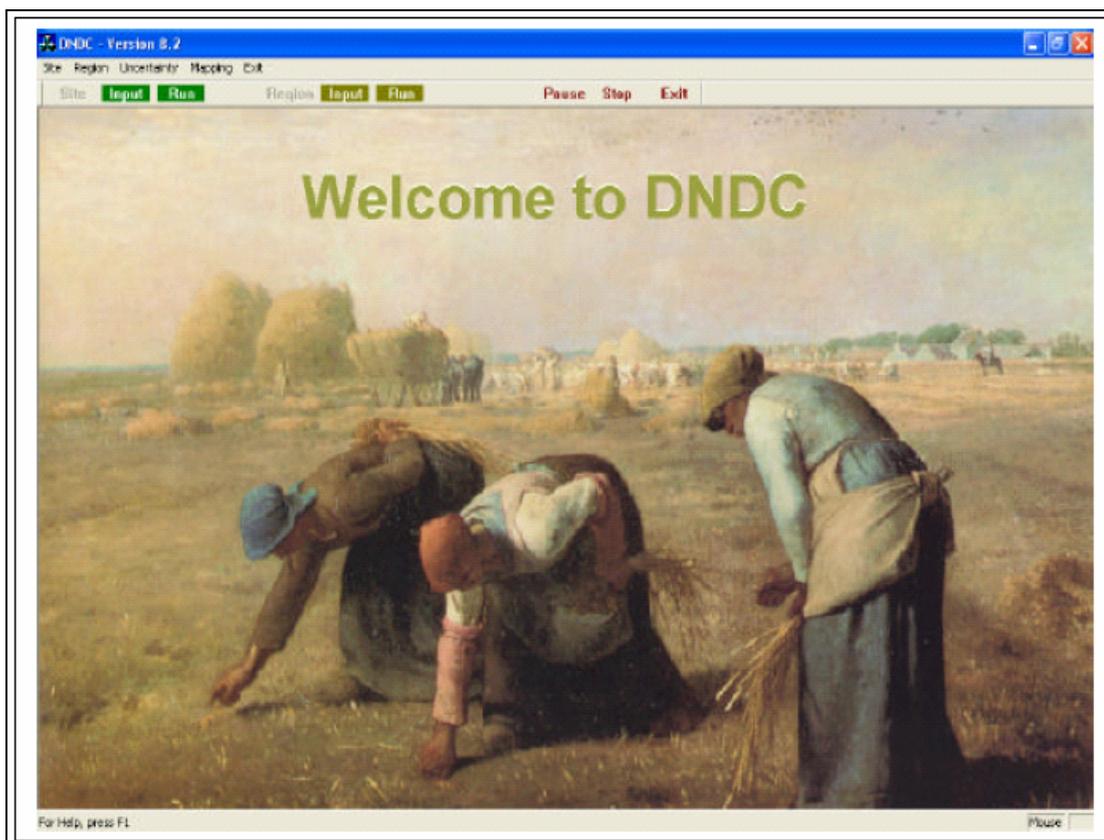
ภาพผนวกที่ 6 การแพร่กระจายของมีเทนที่ชนิดดินต่างๆ ฤดูที่2 จากแบบจำลอง DNDC



ภาพผนวกที่ 7 การแพร่กระจายของมีเทนที่สัดส่วนคาร์บอนในดินต่างกันในฤดูที่ 1 จากแบบจำลอง DNDC



ภาพผนวกที่ 8 การแพร่กระจายของมีเทนที่สัดส่วนคาร์บอนในดินต่างกันจากแบบจำลอง DNDC ในฤดูที่ 2



ภาพผนวกที่ 9 เมนูหลักของแบบจำลอง DNDNC

Input Information

Climate | Soil | Farming Management

Site name:

Latitude: Longitude: °

Simulated years: Record daily results:

Obtain meteorological data from default database

C:\DNDC\Database\Maeklong\Database\56969

Climate File's Format is:

Jday, MeanT, Rainfall
 Jday, MaxT, MinT, Rainfall
 Jday, MaxT, MinT, Rainfall, Solar radiation
(C) (C) (cm) (mj/m²/day)

Use 1 climate file for all years:

N concentration in rainfall (mg N/l or ppm) =

Atmospheric background NH₃ concentration (ug N/m³) (0.06) =

Atmospheric background CO₂ concentration (ppm) (350) =

Increase rate of atmospheric CO₂ concentration (ppm/yr) =

ภาพผนวกที่ 10 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Climate ในแบบจำลอง DNDC

Input Information

Climate | **Soil** | Farming Management

Land-use type = (2) Rice paddy field

Soil texture

Soil texture (4) Silt Loam 0.14 Clay fraction (0-1) 0.27

Bulk density (g/cm³) 1.34 Field capacity (wfps, 0-1) 0.3

Soil pH 6.48 Wilting point (wfps, 0-1) 0.14

Soil structure

Macro-pores and bypass flow Yes No Depth of water-retention layer (cm) 50

Initial soil organic C (SOC) content, partitioning and profile

SOC at surface soil (0-5cm) (kg C/kg) 0.052

SOC profile

Re-define

Depth of top soil with uniform SOC content (m) 0.13

SOC decrease rate below top soil (-5.0 - 5.0) 1.2

SOC partitioning

Re-define

	V.l. litter	L. litter	R. litter	Humads	Humus
Fraction	0	0	0.05	0.05	0.9
C/N	5	25	100	10	10

Initial NO₃(-) concentration at surface soil (mg N/kg) 0.1

Initial NH₄(+) concentration at surface soil (mg N/kg) 15.71

Microbial activity index (0-1) 0.9

Slope (%) = 0

Accept

OK Cancel Apply Help

ภาพผนวกที่ 11 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Soil ในแบบจำลอง DNDC

Input Information

Climate | Soil | Farming Management

Design cropping systems for the simulated years

Total years: 1 Number of cropping systems applied during the entire simulated years: 1

Cropping system #: 1 < > Duration: 1 years Years of a cycle: 1 Year in a cycle: 1 <- >

Input management

View

OK Cancel Apply Help

ภาพผนวกที่ 12 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Farming Management ในแบบจำลอง DNDC

Crop information in a year:

Crop | Tillage | Fertilization | Manure Amendment | Weeding | Flooding | Irrigation | Grazing or cutting

Correctly simulating crop growth is essential for modeling soil biogeochemistry. Please click this button to review the DNDC-default parameters for the crops you concern. With this tool, you can modify the crop parameters or create new crops. Review or modify crop parameters

New crops consecutively planted in this year =

Crop # = <- Last Next ->

Crop type =

Planting month = day =

Harvest month = day =

Harvest mode 1: in this year
2: in next year

Fraction of leaves and stems left in field after harvest

Use empirical crop growth sub-model
 Use physiology/phenology sub-model

Physiology/phenology parameters for process crop growth model

Initial biomass (kg dry matter/ha)
Initial photosynthesis efficiency
Maximum photosynthesis rate, kg CO₂/ha/hr
Development rate in vegetative stage
Development rate in reproductive stage

CropID	CropType	Planting	Harvest	Mode	Residue	Yield		
1st crop	20	3	8	7	10	1	0.800000	7000.00

Accept

OK Cancel Apply Help

ภาพผนวกที่ 13 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Crop ในแบบจำลอง DNDC

Crop information in a year:

Crop | **Tillage** | Fertilization | Manure Amendment | Weeding | Flooding | Irrigation | Grazing or cutting

Tillage

How many applications in this year =

Tilling # = <- Last Next ->

Month = Day =

Tilling method = (3) Ploughing with disk or chisel, 10 cm

Accept

Till-ID	Month	Day	Method
1st till	2	23	3

OK Cancel Apply Help

ภาพผนวกที่ 14 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Tillage ในแบบจำลอง DNDC

Crop information in a year:

Crop | Tillage | **Fertilization** | Manure Amendment | Weeding | Flooding | Irrigation | Grazing or cutting

Define each of application events Use daily fertigation file

How many applications in this year =

Fertilization # = <- Last Next -> Month = Day =

Applying method: surface injection Depth (cm) =

Applied amount of fertilizers (kg N/ha):

Urea Anhydrous ammonia Ammonium bicarbonate

NH₄NO₃ (NH₄)₂SO₄ Nitrate

(NH₄)₂HPO₄

They are release-controlled fertilizer Days for total N release

Nitrification inhibitor is applied Efficiency (0-1) Effective duration (days)

Select Fertigation File

Accept

Fer-ID	Month	Day	Method	Nitrate	NH ₄ HCO ₃	Urea	NH ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ S...	(NH ₄) ₂ H...	De
1st till	4	2	1	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.
2nd till	4	27	1	0.000	0.000	28.750	0.000	0.000	0.000	0.000	9.
3rd till	5	17	1	0.000	0.000	28.750	0.000	0.000	0.000	0.000	10

OK Cancel Apply Help

ภาพผนวกที่ 15 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Fertilization ในแบบจำลอง DNDC

Crop information in a year: ✖

Crop | Tillage | Fertilization | Manure Amendment | **Weeding** | Flooding | Irrigation | Grazing or cutting

Weeds problem is No Moderate Serious

Weeding applications

Weeding # =

Month = Day =

Weed-ID	Month	Day
1st weed	3	10
2nd weed	3	24

ภาพผนวกที่ 16 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Weeding ในแบบจำลอง DNDC

Crop information in a year:

Crop | Tillage | Fertilization | Manure Amendment | Weeding | **Flooding** | Irrigation | Grazing or cutting

Flood control 1: Irrigated

Flood control 2: Rainfed

How many times the field is flooded in this year?

Watershed index

Flooding # <- Last Next ->

Flood control 3: Observed water-table fluctuation

From month = day =

To month = day =

Select an observed water-table data file

Conventional flooding (5 - 10 cm)

Marginal flooding (-5 -- 5 cm)

Water leaking rate (mm/day)

Flood water pH

Accept

Flood ID	Flood-M	Flood-D	Drain-M	Drain-D
1st flood	2	25	3	8
2nd flood	3	8	3	28
3rd flood	3	28	6	20

OK Cancel Apply Help

ภาพผนวกที่ 17 การนำเข้าข้อมูลในเมนู Flooding ในแบบจำลอง DNDC

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวอัญรา ชุมวงศ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 2 มกราคม 2508
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2530 วศ.บ. (วิศวกรรมชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2540 วศ.ม. (วิศวกรรมชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร โยธา 7 ข.
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กลุ่มงานออกแบบเขื่อน สำนักออกแบบวิศวกรรมและ สถาปัตยกรรม กรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพฯ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	รางวัลชมเชยงานประกวดนวัตกรรมของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ปี 2550 สาขาวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์ ประเภท นิติตร่วมกับนายวิษณุ ศรีวงษา โดยมี รศ. ดร. วราวุธ วุฒิ วณิชย์ และ รศ. ดร. บัญชา ขวัญยืน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ชื่อผลงาน "คู่มือบ่มน้ำเพื่อหาค่า BOD" (ไม่มีผลงานใด ได้รับรางวัลชนะเลิศและรองชนะเลิศในสาขานี้)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์