



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การนำน้ำชะขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบ

Utilization of Solid Waste Leachate for Plant Cultivation on Landfill Area

นามผู้วิจัย นายชยวิทย์ สุวรรณภักดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริมไชยศรี, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วิไล เจริมไชยศรี, D.Tech.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริมไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การนำน้ำชะขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบ

Utilization of Solid Waste Leachate for Plant Cultivation on Landfill Area

โดย

นายชยวิทย์ สุวรรณภักดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ชยวิทย์ สุวรรณภักดี 2555: การนำน้ำชะขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี, D.Eng. 124 หน้า

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการนำน้ำชะขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบ เพื่อหาชนิดพืชและความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่เหมาะสมโดยใช้การเจริญเติบโตของพืชและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นดัชนีชี้วัด การศึกษานี้ทำการทดลองบนพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย สถานฝังกลบมูลฝอย อ. ไทรน้อย จ.นนทบุรี รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 8 เดือน ใช้พืชในการทดลองสามชนิด ได้แก่ สนุ่นดำ (*Jatropha curcas*) หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) และหญ้ากินนีสีม่วง (*Panicum maximum*) ทำการรดด้วยน้ำขุ่นจากระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับ ที่มีความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 ผลการทดลองพบว่า หญ้ากินนีสีม่วงเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกบนหลุมฝังกลบมูลฝอยและรดด้วยน้ำขุ่นเนื่องจากการเจริญเติบโตดีที่สุดในทุกความเข้มข้นของน้ำขุ่นเท่ากับ 0.72, 0.82, 0.89 และ 1.24 เซนติเมตรต่อวัน เมื่อรดด้วยน้ำขุ่นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำซึมได้ดีที่สุดในทุกพารามิเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า ซีโอดี ทีเคเอ็น และปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งหมด มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 88.27, 82.13 และ 77.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบนหน้าดินต่ำที่สุดเมื่อรดด้วยน้ำขุ่นร้อยละ 0, 50 และ 100 เท่ากับ 0.072, 0.202 และ 0.481 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันตามลำดับ ด้านความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่เหมาะสมในการรดพืชบนพื้นที่ฝังกลบ พบว่า ความเข้มข้นของน้ำขุ่นร้อยละ 50 เหมาะสมที่สุดเนื่องจากพืชทั้งสามชนิดสามารถดึงธาตุไนโตรเจนอันเป็นธาตุอาหารหลักของพืชไปสะสมในร้อยละที่มากที่สุด โดยสะสมอยู่ในสนุ่นดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากินนีสีม่วงคิดเป็นร้อยละ 18, 37 และ 33 ตามลำดับ

Chaiyawit Suwunpukdee 2012: Utilization of Solid Waste Leachate for Plant Cultivation on Landfill Area. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chart Chiemchaisri, D.Eng. 124 pages.

This research is carried out to study the utilization of solid waste leachate for plant cultivation on landfill Area. An eight-month field study was conducted in landfill to quantify plant response, treatment efficiency and impact to percolated water, gas emission and soil quality of one plant (*Jatropha curcas*) and two grass species (*Cynodon plectostachyus* and *Panicum maximum*). Four conditions of RO concentrate were used by making dilutions with tap water at 0, 25, 50 and 100%. The results showed that *Panicum maximum* is the most effective plant for irrigation with RO concentrate in landfill because of it exhibited highest growth rate under all experimental conditions at a growth rate of 0.72, 0.82, 0.89 and 1.24 cm/day when using RO concentrate of 0, 25, 50 and 100%. Moreover, it also had highest efficiency in reducing percolated water contamination especially in terms of COD, TKN and TP at 88.27, 82.13 and 77.17 % and most effective for controlling methane emission at 0.60, 0.141, 0.168 and 0.244 g/ m²/day when 0, 25, 50 and 100 % RO concentrate was applied respectively. An application of 50% RO concentrate is found most suitable for irrigating on plants in landfill because of all plants species had highest nitrogen recovery of 18, 37 and 33% for *Jatropha curcas*, *Cynodon plectostachyus* and *Panicum maximum*.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจียมไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและรองศาสตราจารย์ ดร.วิไล เจียมไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ในงานวิจัยด้วยความเมตตา เอาใจใส่อย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ ประธานกรรมการดำเนินการสอบ และรองศาสตราจารย์ธรรมรัตน์ คุตตะเทพ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบคุณ ศ.ดร.สาขันธ์ ทศศรี ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการศึกษาวิจัย ให้คำแนะนำในการทำการทดลอง และให้พันธุ์เห็ดกินนีสีม่วงสำหรับการทดลอง

ขอขอบคุณองค์กร Japan International Cooperation Agency (JICA) ที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ สถานฟัฒกมลมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ทุกๆ ท่านที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณาจารย์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เอกสารข้อมูล เครื่องมือทดสอบ และอำนวยความสะดวก ในการดำเนินการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ครอบครัว เพื่อนๆ และพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความสนใจ ให้ความช่วยเหลือ และช่วยสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ชยวิทย์ สุวรรณักดิ์

มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	27
ผลการทดลองและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	67
สรุป	67
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	77
ภาคผนวก ข ภาพสถานที่การทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	94
ภาคผนวก ค ภาพพืชที่ใช้ในการทดลอง	99
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	124

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าและใหม่	11
2	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้เทคโนโลยีออสโมซิสผันกลับ	13
3	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยเปรียบเทียบระหว่างน้ำเข้ากับน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง โดยระบบออสโมซิสผันกลับ ประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย	14
4	ชนิดพืชที่ปลูกบนหลุมฝังกลบในงานวิจัยต่างๆ	16
5	ปริมาณโลหะหนักที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช	18
6	ผลของค่าการนำไฟฟ้าของดินต่อการเจริญเติบโตของพืช	19
7	ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินบนหลุมฝังกลบขยะในประเทศกรีซ	23
8	งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการนำน้ำชะมูลฝอยมารดต้นพืช	24
9	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง (ก่อนปลูกพืช)	28
10	ค่าพารามิเตอร์ของน้ำขึ้นจากระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบออสโมซิสแบบผันกลับ	29
11	ความถี่ของการวิเคราะห์ตัวอย่างและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	38
12	อัตราการเจริญเติบโตในด้านความสูงของพืชในการทดลอง (เช่นติเมตรต่อวัน)	47
13	น้ำหนักสดและปริมาณไนโตรเจน ก่อนและหลังการทดลองของสบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง	48
14	ผลการวิเคราะห์ผลผลิตต่อต้นของพืชตระกูลหญ้าระหว่างการทดลอง	49
15	ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ <i>J. curcas</i> (สบู่ดำ)	50
16	ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ <i>C. plectostachyus</i> (หญ้างาสตาร์)	51
17	ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ <i>C. plectostachyus</i> (หญ้างาสตาร์) รายคู่ด้วยวิธี LSD	51
18	ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ <i>P. maximum</i> (หญ้างินนิสีม่วง)	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ <i>P. maximum</i> (หญ้ากีนีสีม่วง) รายคู่ด้วยวิธี LSD	53
20	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำซึมใต้ดินของสปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากีนีสีม่วงในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100	54
21	การสะสมในดินที่ปลูกด้วย สปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากีนีสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100	56
22	ค่าเฉลี่ยการสะสมในดินและน้ำซึมใต้ดินในแปลงการทดลองความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 100 ที่ปลูกด้วยสปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากีนีสีม่วง	60
23	อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่ปลูกด้วย สปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากีนีสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100	63
24	ปริมาณโลหะหนักในสปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากีนีสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100	66
ตารางผนวกที่		
ก1	ผลการวิเคราะห์ pH ในดิน	78
ก2	ผลการวิเคราะห์ EC (dS/m) ในดิน	78
ก3	ผลการวิเคราะห์ TKN ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน	79
ก4	ผลการวิเคราะห์ $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน	79
ก5	ผลการวิเคราะห์ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน	80
ก6	ผลการวิเคราะห์ TP ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน	80
ก7	ผลการวิเคราะห์ TOC (g/kg.soil) ในดิน	81
ก8	ผลการวิเคราะห์ Organic matter (g/kg.soil) ในดิน	81
ก9	ผลการวิเคราะห์ NaCl (%) ในดิน	82
ก10	ผลการวิเคราะห์การปลดปล่อย CH_4 ($\text{g/m}^2\text{/day}$)	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก11	ผลการวิเคราะห์ EC (dS/m) ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100	83
ก12	ผลการวิเคราะห์ BOD ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100	84
ก13	ผลการวิเคราะห์ COD ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100	85
ก14	ผลการวิเคราะห์ TKN ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100	86
ก15	ผลการวิเคราะห์ NO ₃ -N ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100	87
ก16	ผลการวิเคราะห์ NaCl (%) ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100	88
ก17	ผลการวิเคราะห์ TP ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100	89
ก18	ผลการวิเคราะห์ TOC ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100 ผลการ	90
ก19	ค่าเฉลี่ยความสูงของพีชในการทดลอง	91
ก20	อัตราการเจริญเติบโตของพีชในการทดลอง (cm/day)	92
ก21	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ถึง เดือนตุลาคม 2554 อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วิธีการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area method) และวิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench method)	6
2	ขั้นตอนการย่อยสลายของมูลฝอยในหลุมฝังกลบ	9
3	ลักษณะการเกิดน้ำชะมูลฝอย	10
4	การวางแผนปลูกศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำซึมจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบออสโมซิสแบบผันกลับต่อการเจริญเติบโตของพืช	31
5	ตำแหน่งและระยะห่างของพืชในแต่ละแปลง	32
6	จุดติดตั้งอุปกรณ์และเก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดินในแปลงทดลอง	33
7	เครื่องมือและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดิน	34
8	Close flux chamber	35
9	ความเข้มข้นของก๊าซที่เพิ่มขึ้นใน Chamber	36
10	แผนผังการทดลอง	40
11	ปริมาณน้ำฝน (mm) บริเวณแปลงทดลอง	42
12	ความสูงเมื่อรดด้วยน้ำซึมจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับในความเข้มข้นต่างๆ	43
13	ร้อยละความสูงเมื่อรดด้วยน้ำซึมจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับในความเข้มข้นต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับความสูงของพืชที่รดด้วยน้ำประปา	45
14	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ในดินที่ปลูกด้วยพืชต่างชนิดเมื่อรดด้วยน้ำซึมจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับ	57
15	แหล่งการสะสมของไนโตรเจนเมื่อรดด้วยน้ำซึมความเข้มข้น	61
16	อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่มีการปลูกด้วย สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากินนีสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำซึมความเข้มข้น	64
17	ค่าเฉลี่ยของอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่มีการปลูกด้วย สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากินนีสีม่วง เมื่อรดด้วยน้ำซึมจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับในความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100	65

สารบัญญภาพ (ต่อ)

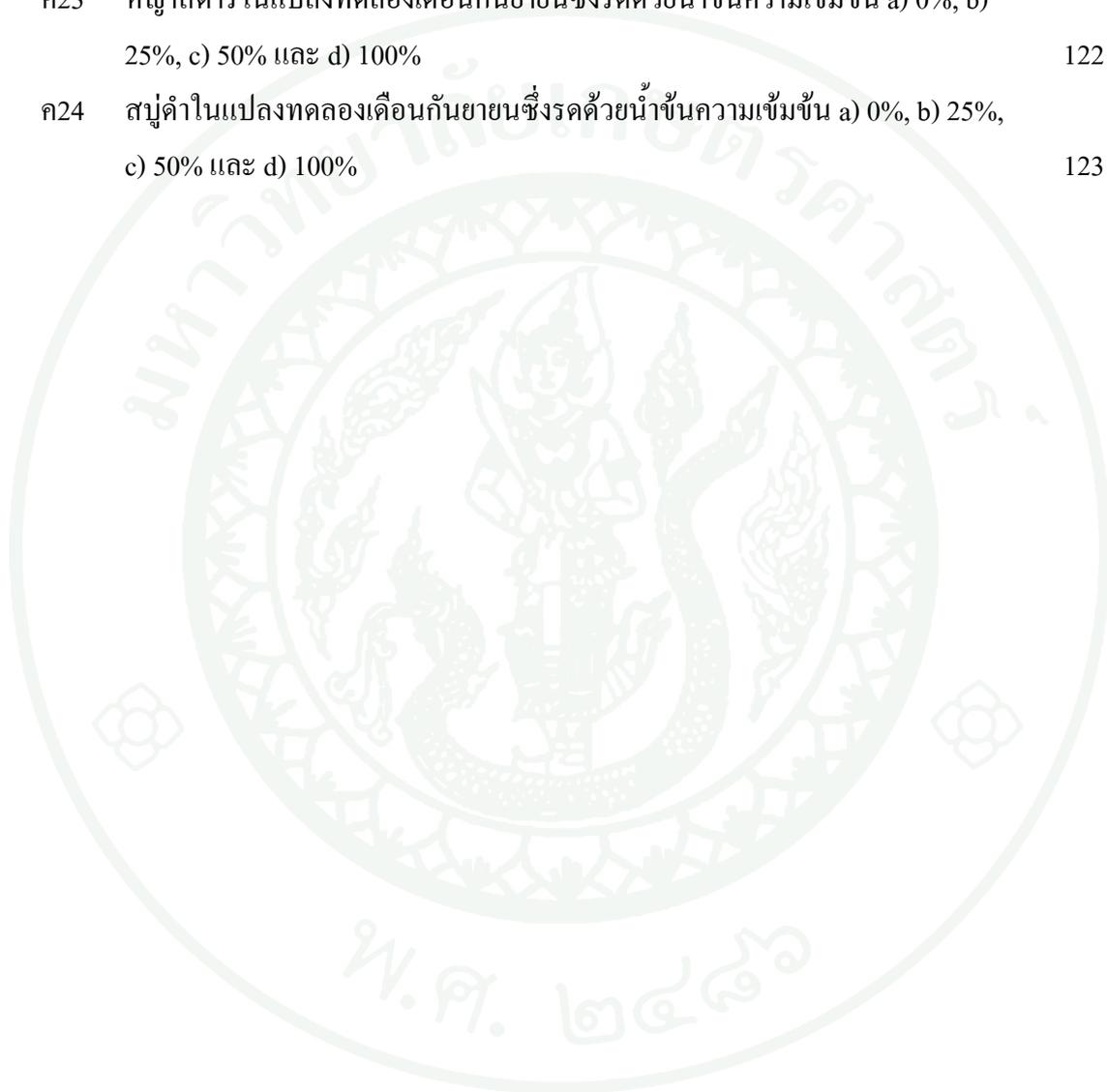
ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 บ่อเก็บน้ำชะมูลฝอย ณ สถานกำจัดมูลฝอย อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี	95
ข2 ปุ่มและท่อหน้าที่สูบน้ำขึ้นจากระบบบำบัดออสโมซิสผันกลับไปยังบริเวณแปลงทดลอง	95
ข3 พื้นที่แปลงทดลองก่อนทำการเตรียมพื้นที่ทดลอง	96
ข4 พื้นที่แปลงทดลองหลังทำการเตรียมพื้นที่ทดลอง	96
ข5 ก) ถังเก็บน้ำซึมใต้ดิน, ข) ส่วนเก็บน้ำบริเวณกันดั้ม	97
ข6 ก) ส่วนสายยางที่อยู่เหนือผิวดินของชุดอุปกรณ์เก็บน้ำซึมใต้ดิน, ข) ปุ่มแบบพกพาสำหรับสูบน้ำเก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดิน	97
ข7 การครอบตัดเก็บก๊าซโดยใช้ Close flux chamber	98
ค1 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	100
ค2 หลัศาสตร์ในแปลงทดลองเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	101
ค3 หลักีนินีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	102
ค4 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนมีนาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	103
ค5 หลัศาสตร์ในแปลงทดลองเดือนมีนาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	104
ค6 หลักีนินีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนมีนาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	105
ค7 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนเมษายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	106
ค8 หลัศาสตร์ในแปลงทดลองเดือนเมษายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	107
ค9 หลักีนินีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนเมษายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	108

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค10 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนพฤษภาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	109
ค11 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนพฤษภาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	110
ค12 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนพฤษภาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	111
ค13 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนมิถุนายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	112
ค14 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนมิถุนายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	113
ค15 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนมิถุนายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	114
ค16 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนกรกฎาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	115
ค17 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนกรกฎาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	116
ค18 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนกรกฎาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	117
ค19 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนสิงหาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	118
ค20 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนสิงหาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	119
ค21 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนสิงหาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	120
ค22 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนกันยายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	121

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
ก23	หญาศตารในแปลงทดลองเดือนกันยายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	122
ก24	สบูดำในแปลงทดลองเดือนกันยายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%	123



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่หน้าตัดของ Chamber ที่ปิดล้อม (m^2)
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
COD	=	Chemical Oxygen Demand
dS/m	=	desi semen per meter
EC	=	Electric conductivity
F	=	อัตราของก๊าซที่ระบายออกมาต่อพื้นที่ต่อเวลา ($g/m^2/s$)
NaCl	=	Sodium Chloride
OM	=	organic matter
RO	=	reverse osmosis
SS	=	suspended solids
T	=	temperature, degree Fahrenheit
TDS	=	Total dissolved solid
TKN	=	total kjeldahl nitrogen
TOC	=	total organic carbon
TP	=	total phosphorus
V	=	ปริมาตรของ Chamber (m^3)
ρ	=	ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)
ΔC	=	ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง (%)
Δt	=	ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ (s)

การนำน้ำชะขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบ

Utilization of Solid Waste Leachate for Plant Cultivation on Landfill Area

คำนำ

การกำจัดมูลฝอยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยในปัจจุบันกว่าร้อยละ 90 ของมูลฝอยที่เกิดขึ้นกำจัดโดยใช้วิธีฝังกลบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) จากการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีนี้ทำให้เกิดน้ำชะขยะมูลฝอยซึ่งมีองค์ประกอบซับซ้อนและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการเลือกใช้เทคโนโลยีหรือวิธีบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันน้ำชะขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบมูลฝอยสามารถบำบัดได้หลายวิธี เช่น บ่อฝัง บึงประดิษฐ์ โอโซนเนชัน และเทคโนโลยีเมมเบรน เป็นต้น (Cortez *et al.*, 2010; Jarboui *et al.*, 2010) การใช้เทคโนโลยีออสโมซิสผันกลับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งวิธีนี้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบกายภาพโดยใช้เมมเบรนคัดกรองสารปนเปื้อนในน้ำโดยใช้แรงดันที่สูงกว่าแรงดันออสโมซิส ทำให้สารละลายซึมผ่านเมมเบรนจากสารละลายความเข้มข้นมากไปยังสารละลายความเข้มข้นน้อย เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการบำบัดได้เป็นอย่างดี โดยมีประสิทธิภาพในการคัดกรองสารปนเปื้อนในน้ำชะขยะที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.01 ไมครอน (จันทอง, 2547)

ในการเดินระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยระบบออสโมซิสแบบผันกลับก่อให้เกิดน้ำขุ่นที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งเป็นน้ำส่วนที่ไม่ผ่านการกรอง โดยมีวิธีการจัดการน้ำขุ่นหลายวิธีเช่น บ่อระเหย อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis) และยูเทกติกฟรีซคริสตัลไลเซชัน (Eutectic freeze crystallization) เป็นต้น (Ahmed *et al.*, 2000; Korngold *et al.*, 2009; Randall *et al.*, 2010) ซึ่งล้วนแต่เป็นการจัดการน้ำขุ่นให้หมดไป แต่การนำน้ำขุ่นที่เกิดขึ้นกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยระบบออสโมซิสแบบผันกลับไปใช้ใหม่เพื่อนำไปปลูกพืชพลังงานและพืชเลี้ยงสัตว์บนหลุมฝังกลบ โดยศึกษา

ชนิดของพืชที่เหมาะสม และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติในการใช้ประโยชน์จากน้ำชะขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบมูลฝอยไปในพื้นที่ฝังกลบอื่นๆ อย่างเหมาะสมต่อไป



วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดเลือกพืชที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกโดยรดด้วยน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยระบบออสโมซิสแบบผันกลับ
2. เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยระบบออสโมซิสแบบผันกลับที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนหลุมฝังกลบมูลฝอย
3. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อนำน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยระบบออสโมซิสแบบผันกลับมาใช้รดต้นพืชบนหลุมฝังกลบมูลฝอย

ขอบเขตการศึกษา

1. งานวิจัยนี้ทำการทดลอง ณ พื้นที่ฝังกลบมูลฝอย ในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ตำบลคลองนา อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี
2. น้ำขุ่นที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับของสถานกำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ตำบลคลองนา อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี
3. พืชที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย สมู๋ดำ (*Jatropha curcas*), หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) และหญ้ากินนีสีม่วง (*Panicum maximum*) โดยมีดัชนีวัดการเจริญเติบโตได้แก่ ความสูง และน้ำหนักสด
4. การศึกษาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วย ลักษณะน้ำซึมใต้ดิน การสะสมในดิน และอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทน

การตรวจเอกสาร

การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

1. การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลนั้น เป็นวิธีการกำจัดโดย การนำ มูลฝอยมาฝังหรือกองในพื้นที่ซึ่งจัดเตรียมไว้ แล้วบดอัดมูลฝอยด้วยเครื่องจักรกล เพื่อให้มูลฝอย ยุบตัวลดพื้นที่ในการฝังกลบให้น้อยลง เสร็จแล้วทำการกลบทับมูลฝอยด้วยวัสดุกลบทับ (Cover material) ที่เหมาะสมเช่น ดิน ในแต่ละวัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ดินในพื้นที่ ที่ต้องมีระบบป้องกัน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอย (Leachate) ระบบบำบัด น้ำเสีย และระบบระบายก๊าซที่เกิดจากพื้นที่ฝังกลบ และมีการปรับปรุงพื้นที่หลังการฝังกลบให้มี ทัศนียภาพสวยงามไม่เป็นที่รังเกียจต่อชุมชน

วิธีการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ทำได้หลายแบบขึ้นอยู่กับ ลักษณะของพื้นที่ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

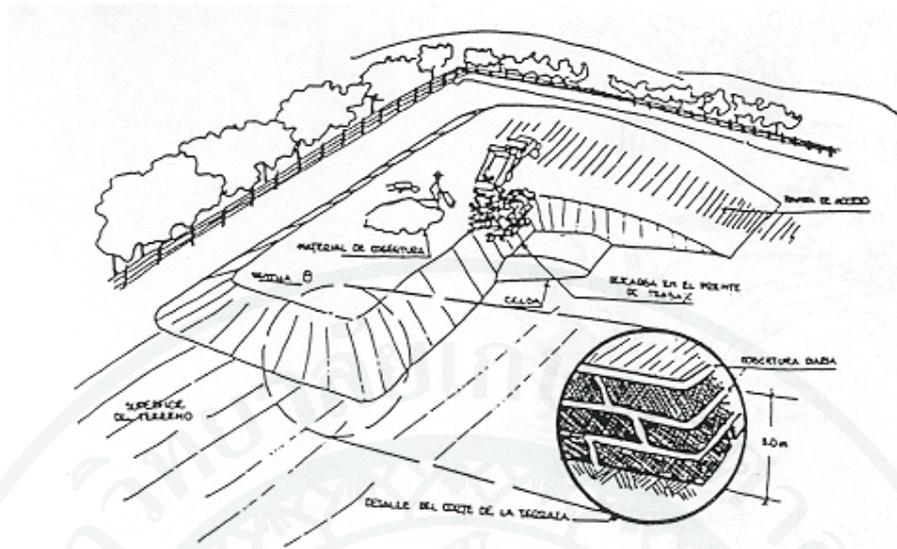
1.1 การฝังกลบบนพื้นที่ (Area Method) เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับดินเดิมโดยไม่มี การขุดดิน แต่ทำคันดินตามแนวขอบ เพื่อเป็นผนังหรือขอบยันการบดอัดมูลฝอยที่ฝังกลบ ดังแสดง ในภาพที่ 1 (ก) เริ่มต้นการฝังกลบโดยทำการทิ้งมูลฝอยและบดอัดมูลฝอยตามแนวราบก่อน แล้ว ค่อยบดอัดทับในชั้นถัดไปสูงขึ้นเรื่อยๆ (กว้าง ~5 m แต่ละชั้นมูลฝอยหนา ~0.50 m) ทำการบดอัดมูล ฝอยแต่ละชั้นจนกระทั่งหนารวมกัน ~2-3 m จึงทำการกลบทับด้วยดินกลบทับหนา ~0.15 m (daily cover) โดยมูลฝอยที่ถูกบดอัดพร้อมมีดินกลบทับเรียบร้อยแล้ว เรียกว่า ห้อง (Cell) มูลฝอยแต่ละเซลล์ เมื่อเรียงกันตามแนวราบจนเต็มพื้นที่ฝังกลบจะเรียกว่า ชั้นมูลฝอย (Lift) เมื่อทำการบดอัดมูลฝอย จนได้ชั้นมูลฝอย 1 ชั้นแล้วจะกลบทับด้วยดินกลบทับระหว่างชั้นหนา ~0.30 m (lift cover) และเมื่อ ทำการบดอัดมูลฝอยชั้นสุดท้าย (Final lift) เสร็จสมบูรณ์จะกลบทับด้วยดินหนาไม่ต่ำกว่า 0.60 m (final cover)

1.2 การฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method) เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับที่ต่ำกว่าระดับดินเดิม โดยทำการขุดพื้นดินเป็นร่องยาว 30-100 m กว้าง 5-8 m ลึก 2 m แล้วจึงเริ่มทิ้งมูลฝอยลงในร่องและบดอัดมูลฝอยเป็นชั้นบางๆ 0.60 m ทำการบดอัดทับกันขึ้นไปเรื่อยๆ จนได้ความสูงของชั้นมูลฝอยตามต้องการ และปิดทับด้วย daily cover (ดินที่ขุดจากด้านข้างเพื่อเตรียมเป็นร่องใหม่) ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) วิธีนี้จะประหยัดค่าใช้จ่ายกว่า Area method เนื่องจาก ไม่ต้องใช้ดินจากที่อื่นมากลบบทับ (ใช้ดินที่ขุดร่อง) ไม่ต้องทำคันดิน และหนึ่งหน่วยพื้นที่กำจัดมูลฝอยได้มากกว่า เนื่องจากเมื่อฝังกลบแบบ Trench method จนถึงระดับดินเดิมแล้ว ยังสามารถฝังกลบแบบ Area method ต่อได้อีก

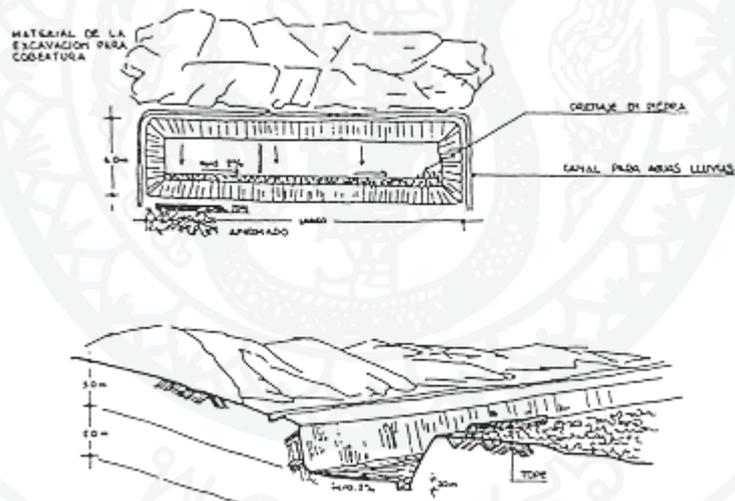
2. ลักษณะที่สำคัญของการสร้างหลุมฝังกลบมูลฝอย

การสร้างหลุมฝังกลบมูลฝอยจำเป็นต้องมีการวางแผนและจัดระบบต่างๆ ก่อนใช้งานจริง เพื่อป้องกันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อันเกิดมาจากการรั่วซึมของน้ำชะมูลฝอยและก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยการสร้างหลุมฝังกลบมูลฝอยมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

2.1 หลุมฝังกลบมูลฝอยต้องมีวัสดุกันซึมปูด้านในของหลุม โดยรอบ ทั้งที่พื้นล่างและด้านข้างก่อนทำการเทกองขยะและหลังจากเทกองเต็มหลุมหรือต้องการปิดหลุมเมื่อเลิกใช้พื้นที่ โดยอาจใช้ดินเหนียวหรือแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่มีค่าการซึมผ่านของน้ำต่ำ ซึ่งตามมาตรฐานอาจจะเป็นชั้นดินเหนียวบดอัดหนา 60 เซนติเมตร มีค่าการซึมผ่านของน้ำไม่เกิน 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที หรือใช้แผ่นพลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) ที่มีความหนาอย่างน้อย 1.5 มิลลิเมตร ปูภายใน โดยรอบ 1 ชั้น แทนชั้นดินเหนียวดังกล่าว



ก. การฝังกลบบนพื้นที่ (Area Method)



ข. การฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method)

ภาพที่ 1 (ก) วิธีการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area method) และ
(ข) วิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench method)

ที่มา: Jaramillo (1993)

2.2 มีมาตรการป้องกันและควบคุม ดังต่อไปนี้ คือ มีระบบรวบรวมและนำน้ำชะมูลฝอยออกจากหลุมฝังกลบ ระบบระบายและควบคุมก๊าซซึ่งเกิดขึ้นจากการย่อยสลายของขยะภายในหลุมออกจากหลุมฝังกลบ และระบบระบายน้ำฝนหรือหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงบนด้านบนของหลุมฝังกลบ

2.3 มีระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่รวบรวมออกจากหลุมฝังกลบ

2.4 มีบ่อดินตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินหรือบ่อสังเกตการณ์ ซึ่งอยู่ภายนอกหลุมฝังตามแนวทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

กระบวนการย่อยสลายของมูลฝอยในหลุมฝังกลบ

การย่อยสลายในหลุมฝังกลบจะเกิดทั้งการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Condition) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Condition) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นก๊าซ โดยขั้นตอนการย่อยสลายประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 2)

1. Initial Adjustment Phase เป็นขั้นแรกของการย่อยสลาย ซึ่งในขั้นนี้จะเป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากยังมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในหลุมฝังกลบ

2. Transition Phase เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนในหลุมฝังกลบเริ่มขาดแคลนและกำลังจะเกิดสภาพไร้ออกซิเจน ในขั้นนี้จุลินทรีย์ที่ขาดแคลนออกซิเจนจะใช้ในเตรทและซัลเฟตในกระบวนการย่อยสลายเกิดผลิตภัณฑ์เป็น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยในขั้นตอนนี้จะเริ่มลดต่ำลงเนื่องมาจากกรดอินทรีย์ (Organic Acid) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ขึ้นในกระบวนการย่อยสลาย

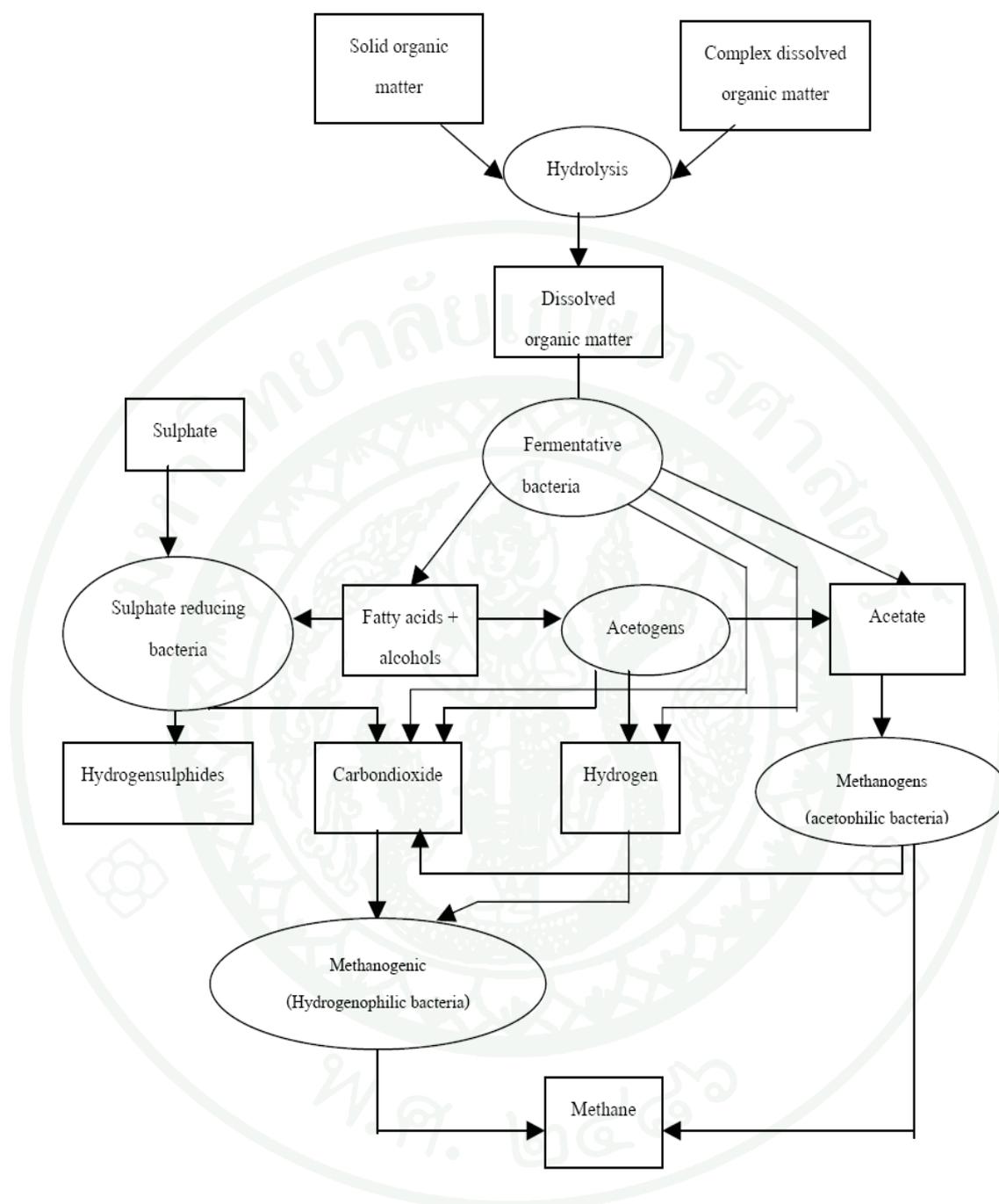
3. Acid Phase ในขั้นตอนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยๆ คือ การเปลี่ยนรูปของสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง (เช่น ไขมัน และ โปรตีน เป็นต้น) ไปเป็นสารประกอบที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ถัดไปเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนนี้ไปเป็น

สารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำประเภทกรดอะซิติก (Acetic Acid) และสารประกอบที่มีความเข้มข้นต่ำๆของกรดฟุลวิก (Fulvic Acid) และกรดอินทรีย์ประเภทอื่นๆซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาอะซีโดเจเนซิส โดยการย่อยสลายในขั้นตอนที่ 3 นี้ก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนก๊าซไฮโดรเจน (H_2) จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้เรียกว่า Facultative Bacteria และ Obligate Anareobic Bacteria

ในขั้นตอนนี้ค่าพีเอช (pH) จะลดต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มมากขึ้นของกรดอินทรีย์ (Organic Acid) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนค่าความสกปรกในรูปของบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำชะมูลฝอยจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพีเอชที่ต่ำจะทำให้ความสามารถในการละลายของกรดอินทรีย์และธาตุอาหารในน้ำชะมูลฝอยดีขึ้น

4. Methane Fermentation Phase ในขั้นตอนนี้พวกจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methane formers) จะเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนในขั้นตอนที่ 3 ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นตอนนี้ Acid Former และ Methane Former จะทำงานควบคู่กัน โดยอัตราการสร้างกรดจะลดลงเรื่อยๆ ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้น ทำให้โลหะหนักละลายน้ำได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยลดลงด้วย

5. Maturation Phase ขั้นตอนที่สุดท้ายนี้จะเกิดขึ้นภายหลังจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ดังนั้นอัตราการเกิดก๊าซจะลดลง อาจพบปริมาณก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนได้เล็กน้อย เนื่องจากในระยะนี้น้ำชะมูลฝอยมีพวกกรดฮิวมิก (Humic acid) และกรดฟุลวิก (Fulvic Acid)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการย่อยสลายของมูลฝอยในหลุมฝังกลบ

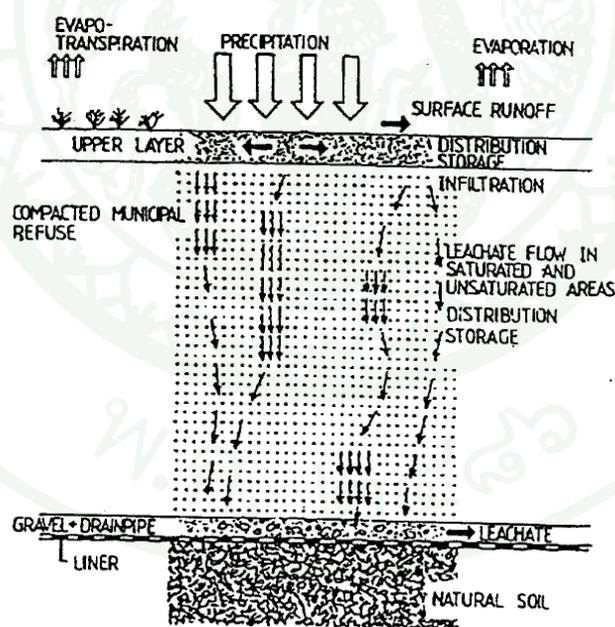
ที่มา: Christensen *et al.* (1996)

ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

การเกิดน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยเกิดจากของเหลวที่ซึมผ่านชั้นมูลฝอยในหลุมฝังกลบมูลฝอย แล้วชะละลายเอาสารละลายหรือสารแขวนลอยต่างๆออกมาจากของเหลวนั้น (Lema *et al.*, 1988) ดังแสดงในภาพที่ 3

ในกองมูลฝอยจะมีจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย เมื่อน้ำฝนตกลงมาชะมูลฝอยแล้วซึมลงด้านล่างจะทำให้เกิดน้ำชะมูลฝอย ซึ่งน้ำชะมูลฝอยอาจมีการปนเปื้อนของมลสาร เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคอยู่ด้วย เป็นต้น หากน้ำชะมูลฝอยซึมลงไปปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดินหรือแหล่งน้ำใต้ดิน ที่มีการนำน้ำไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคก็อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้



ภาพที่ 3 ลักษณะการเกิดน้ำชะมูลฝอย

ที่มา: Stegmann (1983)

น้ำฝนที่ตกลงมาบริเวณหลุมฝังกลบส่วนหนึ่งจะกลายเป็นน้ำที่ผิวดิน (surface runoff) ภายหลังจากที่ผ่านการระเหย การคายน้ำของดินและพืช น้ำส่วนที่เหลือจะถูกกักเก็บไว้ในดินจนถึงขีดสุดท้ายจนกระทั่งความชื้นที่สะสมในชั้นดินเกินความจุภาคสนามของดิน (field capacity) น้ำจะซึมลงสู่ชั้นของขยะมูลฝอย น้ำเหล่านี้จะชะละลายสารต่างๆออกจากมูลฝอย และซึมลงไปสะสมตัวที่พื้นข้างใต้หลุมฝังกลบ เรียกว่า น้ำชะมูลฝอย (leachate) (Dass *et al.*, 1977)

ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าและใหม่

Constituent	Value, mg/l		
	New landfill (less than 2 years)		Mature landfill (greater than 10 years)
	Range	Typical	
BOD ₅	2,000 – 30,000	10,000	100 – 200
TOC	1,500 – 30,000	6,000	80 – 160
COD	3,000 – 60,000	18,000	100 – 500
Total suspended solids	200 – 2,000	500	100 – 400
Organic nitrogen	10 – 800	200	80 – 120
Ammonia nitrogen	10 – 800	200	20 – 40
Nitrate	5 – 40	25	5 – 10
Total phosphorus	5 – 100	30	5 – 10
Ortho phosphorus	4 – 80	20	4 – 8
Alkalinity as CaCO ₃	1,000 – 10,000	3,000	200 – 1,000
pH	4.5 – 7.5	6	6.5 – 7.5
Total hardness as CaCO ₃	300 – 10,000	3,500	200 – 500
Calcium	200 – 3,000	1,000	100 – 400
Magnesium	50 – 1,500	250	50 – 200
Potassium	20 – 1,000	300	50 – 400

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Constituent	Value, mg/l		
	New landfill (less than 2 years)		Mature landfill (greater than 10 years)
	Range	Typical	
Sodium	200 – 2,500	500	100 – 200
Chloride	200 – 3,000	500	100 – 400
Sulfate	500 – 1,000	300	20 – 50
Total iron	500 – 1,200	60	20 - 200

ที่มา: คัดแปลงจาก Tchobanoglous *et al.* (1993)

การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

กระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) บางครั้งอาจจะเรียกว่ากระบวนการกรองแบบไฮเพอร์ ซึ่งกระบวนการนี้อาศัยความแตกต่างของความดันระหว่างเยื่อเมมเบรนที่ใช้เป็นแรงขับเคลื่อนหรือกลไกในการไหลของสารที่ต้องการให้เกิดการไหลผ่านเยื่อเมมเบรน ซึ่งเยื่อดังกล่าวมีความสามารถในการเลือกสารที่เกิดการไหลผ่านไปได้อ่อนข้างดีมาก เช่น เกลือ น้ำตาล เป็นต้น แต่จะยอมให้น้ำไหลผ่านไป

เยื่อดังกล่าวมีการผลิตออกมาใช้งานอยู่ 2 ชนิด คือ แบบที่ไม่มีรูพรุน และแบบที่มีรูพรุน ดังนั้นการไหลผ่านของสารที่ต้องการผ่านเยื่อเมมเบรนเกิดจากค่าการละลายและความสามารถในการแพร่ผ่านเยื่อเมมเบรน ค่าความดันของตัวถูกละลายซึ่งมีขนาดเล็กมาก มีค่าความดันออสโมติกค่อนข้างสูง ทำให้ค่าความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายมีค่าอยู่ในช่วง 1-10 Mpa หรือ 10-100 atm งานที่นำเอากระบวนการนี้ไปใช้ประโยชน์ได้แก่ การแยกเกลือออกจากน้ำกร่อย การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง เป็นต้น กระบวนการนี้จะเกิดผลิตภัณฑ์ 2 รูปแบบคือ น้ำส่วนที่ผ่านการกรอง (Permeate) ซึ่งจะมีความบริสุทธิ์สูง และน้ำส่วนที่ไม่ผ่านการกรองหรือถูกดักไว้โดยเมมเบรน (RO Concentrate หรือ Brine)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการใช้เทคโนโลยีออสโมซิสผันกลับมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำ
ชะมูลฝอยอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดโดยเลือกใช้การผสมผสาน
ระหว่างเทคโนโลยีการบำบัดขั้นต้นต่างๆกับออสโมซิสผันกลับดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้เทคโนโลยีออสโมซิสผันกลับ

Reference	Country	Scale	Leachate type	Type of install	Percent Removal
Linde <i>et al.</i> (1995)	Sweden	Lab	Combined	Pre-filtered RO	NH ₄ ⁺ -N 98% COD 98%
Palma <i>et al.</i> (2002)	Italy	Lab	New	Evaporation RO	Organic content 90% Ammonium 97%
Bohdzlewicz <i>et al.</i> (2001)	Poland	Lab	Stability	AS-UF RO	Suspension 100% COD 97% Dry matter 58%
Hasar <i>et al.</i> (2009)	Turkey	Pilot	New	MBR RO	COD 98% Heavy metal 99%
Ahn <i>et al.</i> (2002)	Korea	Full	Combined	MBR RO	BOD ₅ 97% COD 97% SS 99%
Peters (1998)	Germany	Full	Stability	NF RO	Permeate recovery 95% COD 96%

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้น้ำส่วนที่ไม่ผ่านการกรองของกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบ
ออสโมซิสผันกลับมาใช้ในงานวิจัย ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านการกรองนั้น
จะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆสูงกว่าน้ำชะมูลฝอยที่เข้าระบบ (Feed water) งานวิจัยของ Amhed *et al.*

(2001, 2003) ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยจากระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบ ออสโมซิสผันกลับในประเทศสหรัฐอเมริกาหรับเอมิเรตส์และออสเตรเลียตามลำดับ โดยเปรียบเทียบ ระหว่างน้ำที่เข้ากระบวนการและน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยเปรียบเทียบระหว่างน้ำเข้ากับน้ำที่ไม่ผ่านการกรองโดยระบบ ออสโมซิสผันกลับ ประเทศสหรัฐอเมริกาหรับเอมิเรตส์และออสเตรเลีย

Parameter	สหรัฐอเมริกาหรับเอมิเรตส์				ออสเตรเลีย			
	Plant 1		Plant 2		Plant 1		Plant 2	
	Feed	Brine	Feed	Brine	Feed	Brine	Feed	Brine
Ca (mg/L)	464	617	533	730	1618	1920	1453	1780
Mg (mg/L)	1640	2450	1620	2240	1164	1772	1228	1895
Na (mg/L)	1190	1510	1220	1580	4102	6030	4039	5860
P (mg/L)	574	767	581	805	142	215	147	225
Sr (mg/L)	4.56	7.19	7.29	11.5	0.9	1.4	0.8	1.2
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	136	117	100	125	28	33	20	23
Cl (mg/L)	23149	30540	23484	32004	8657	11945	8596	11613
Nitrate (mg/L)	2.2	3.0	3.3	3.1	9	10	13	15
Fe (mg/L)	<0.22	0.33	0.22	0.35	0.51	0.68	0.45	0.58
Mn (mg/L)	<0.05	0.06	0.06	0.07	<0.05	0.05	<0.05	0.05
F (mg/L)	1.5	2.1	0.6	0.9	0.27	0.38	0.32	0.45
TDS (mg/L)	40592	53177	41661	56158	17830	23500	17700	22800
Total ions	40658	53235	41710	56220	17882	23550	17794	22849
pH	7.87	6.76	7.06	6.97	4.61	4.43	4.28	3.86
E.C (mS/cm)	55700	73300	56130	78000	27.3	35.5	26.9	34.6
alkalinity	111	96	82	102	31	27	19	19
hardness	7922	10409	8015	11067	5016	6572	4914	6345

ที่มา: ดัดแปลงจาก Amhed *et al.* (2001, 2003)

การปลูกพืชคลุมดินกลบทับมูลฝอย

1. ลักษณะพืชในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย

ชนิดและลักษณะพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยในแต่ละแห่งจะมีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมของในแต่ละพื้นที่ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในพื้นที่ปกติแล้ว พืชในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยจะเจริญเติบโตช้ากว่า อันเนื่องมาจากก๊าซที่แพร่ ออกมาจากหลุมฝังกลบ ความแห้งแล้ง และลักษณะดินที่ใช้ในการกลบทับชั้นสุดท้ายซึ่งต้องถูกบดอัด ดังนั้นพืชที่นำมาปลูกในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยจะต้องลักษณะที่เหมาะสมต่อการปลูกบนหลุมฝังกลบดังนี้ (USEPA, 1991)

- 1.1 สามารถเจริญเติบโตในสภาวะแวดล้อมในพื้นที่นั้น
- 1.2 รากสั้นหรือหยั่งลึกได้ไม่เกินกว่าความลึกของดินฝังกลบชั้นสุดท้าย
- 1.3 รากมีลักษณะแผ่ขยายเพื่อช่วยลดการกัดเซาะหน้าดิน
- 1.4 เจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้เร็ว

ตารางที่ 4 ชนิดพืชที่ปลูกบนหลุมฝังกลบในงานวิจัยต่างๆ

ชนิดพืช	ประเภทพืช	ที่มา	เหตุผล
<i>Salix amygdalina</i> L.	ไม้โตเร็ว	Bialowiec and Randerson (2010) และ Brierley <i>et al.</i> (2001)	ชอบแสงแดดและเจริญเติบโตง่าย
<i>Festuca arundinacea</i> , <i>Koeleria macrantha</i> and <i>Cynodon dactylon</i>	หญ้า	Kostopoulou <i>et al.</i> (2010)	ทนแล้งและทนเค็มได้ดี
<i>Acacia confusa</i> , <i>Leucaena leucocephala</i> and <i>Eucalyptus torelliana</i>	ไม้โตเร็ว	Liang <i>et al.</i> (1999)	ทนแล้งและทนเค็มได้ดี
<i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Salix babylonica</i> and <i>Populus nigra</i>	หญ้าและไม้โตเร็ว	Cureton <i>et al.</i> (1991)	ชอบแสงแดดและเจริญเติบโตง่าย
<i>Salix</i> sp.	ไม้โตเร็ว	Bialowiec <i>et al.</i> (2003)	เจริญเติบโตง่าย
<i>S. amygdalina</i> L., <i>Salix viminalis</i> L. and <i>Salix purpurea</i>	ไม้โตเร็ว	Bialowiec and Agopsowicz (2007)	เจริญเติบโตง่าย

2. ผลของน้ำชะมูลฝอยต่อพืช

การรดด้วยน้ำชะมูลฝอยย่อมส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากกระบวนการคูดน้ำและธาตุอาหาร ไปใช้โดยรากพืชซึ่งถูกปนเปื้อนด้วยธาตุอาหารต่างๆจากน้ำชะมูลฝอยที่รด

Gordon *et al.* (1989) ศึกษาการเจริญเติบโตของพืช *Acer rubrum* L. ในกระถาง โดยรดด้วยน้ำชะมูลฝอยด้วยความเข้มข้นต่างๆคือ 0, 25, 50 และ 100% ผลจากการดำเนินการทดลองเป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าในความเข้มข้นน้ำชะมูลฝอย 50% พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

Zalesny Jr. *et al.* (2009) พบว่าหลังรดพืช *Populus* ด้วยน้ำชะมูลฝอยเป็นเวลา 70 วัน พืชมีน้ำหนักแห้ง ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบที่มากกว่าพืชที่รดด้วยน้ำประปา

Tzanakakis *et al.* (2009) ศึกษาการบำบัดธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของพืช 4 ชนิด ได้แก่ *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Populus nigra* และ *Arundo donax* โดยรดด้วยน้ำชะมูลฝอยชุมชน ผลจากการดำเนินการทดลองในปีที่ 3 พบว่า *Acacia cyanophylla* สามารถบำบัดธาตุไนโตรเจนได้ดีที่สุด (31.09 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ *Eucalyptus camaldulensis* สามารถบำบัดธาตุฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด (37.24 เปอร์เซ็นต์)

3. การเปลี่ยนแปลงของธาตุไนโตรเจนในดินที่มีการปลูกพืช

ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทในการเจริญเติบโตและจำกัดการเจริญเติบโตของพืชอย่างเห็นได้ชัดที่สุด อีกทั้งเป็นองค์ประกอบในส่วนของพืชและสะสมอยู่ในพืชเป็นปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนของพืชที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ คือ คลอโรฟิลล์ โปรตีน กรดนิวคลีอิก และสารอีกหลายชนิด (ชัยฤกษ์, 2536) ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย จึงถูกลำเลียงจากส่วนของพืชที่แก่แล้วไปยังส่วนที่ยังอ่อนอยู่ ดังนั้นเมื่อขาดไนโตรเจน พืชจะมีใบเหลืองที่ใบแก่ก่อน หลังจากนั้นจะเห็นการเจริญเติบโตของส่วนอื่นๆ ชะงักงั้น แต่หากได้รับไนโตรเจนมากเกินไปพืชจะเจริญเติบโตมาก แต่การสะสมอาหารและการเจริญของผลและเมล็ดช้า หรือพืชไม่ออกดอกออกผลก็มี

ไนโตรเจนในดิน สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ อนินทรีย์ไนโตรเจน (inorganic nitrogen) และอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) อนินทรีย์ไนโตรเจน มีประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน โดยอยู่ในรูปที่พืชจะดูดดึงขึ้นไปใช้โดยตรง ได้แก่ NH_4^+ , NO_2^- และ NO_3^- และอินทรีย์ไนโตรเจน มีประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ค่าวิกฤตของปริมาณไนโตรเจนนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและส่วนของพืชที่ทำการวิเคราะห์ (Jones *et al.*, 1991) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในดินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ชนิดพรรณไม้ ความชื้นและอุณหภูมิ การระบายน้ำและอากาศในดิน ความสูงของสภาพภูมิประเทศ ความหยาบและความละเอียดของดิน (Millar, 1974)

4. การสะสมของโลหะหนัก

โลหะหนักนอกจากจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์แล้ว ยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมถึงพืชอีกด้วย แม้พืชหากได้รับโลหะหนักในปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้เกิดอาการอย่างเฉียบพลัน ก็อาจมีผลกระทบต่อโครงสร้างของโครโมโซมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม โดยปริมาณโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อพืชแสดงดังตารางที่ 5 นอกจากนี้พืชจากโลหะหนักยังสามารถสะสมไว้ในพืชแล้วถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร ในที่สุดอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ซึ่งนำพืชและสัตว์กินพืชที่ปนเปื้อนสารพิษดังกล่าวมาบริโภค

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)	
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช
แคดเมียม	0.1-1	5-700
โครเมียม	-	-
ทองแดง	3-20	25-40
ตะกั่ว	2-5	-
นิกเกิล	0.1-5	50-100

ที่มา: คัดแปลงจาก Alloway (1990)

5. ผลของความเค็มของดินต่อการเจริญเติบโตของพืช

น้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบบอสมอซิสแบบผันกลับ จะมีปริมาณความเข้มข้นของเกลือสูงเนื่องจากเกลือไม่สามารถผ่านการกรองของเมมเบรนออกไปได้ งานศึกษาวิจัยครั้งนี้แนะนำให้ใช้น้ำขึ้นไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชจึงมีแนวโน้มในการเกิดปัญหาด้านดินเค็ม อันเกิดมาจากการสะสมของเกลือในดิน

ความเค็มของดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ค่าการนำไฟฟ้าเป็นดัชนีบ่งชี้ระดับความเค็มของดินจากตารางที่ 6 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินในช่วง 0 - 2 dS.m⁻¹ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและค่าการนำไฟฟ้าของดินในช่วง 2 - 16 dS.m⁻¹ ส่งผลกระทบต่อพืชทำให้ผลผลิตน้อยลงและถ้าค่าการนำไฟฟ้าของดินมากกว่า 16 dS.m⁻¹ ทำให้ดินมีความเค็มสูงส่งผลให้พืชส่วนใหญ่ไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ยกเว้นพืชบางชนิดเท่านั้นที่ทนต่อดินเค็มได้

ตารางที่ 6 ผลของค่าการนำไฟฟ้าของดินต่อการเจริญเติบโตของพืช

EC (dS/m)	ระดับความเค็ม	ผลกระทบต่อพืช
< 2	-	ไม่ส่งผลต่อพืช
2-4	ต่ำ	ส่งผลต่อพืชเล็กน้อย
4-8	ปานกลาง	ส่งผลต่อผลผลิต
8-16	สูง	ลดผลผลิต, พืชค่อยๆตาย
>16	สูงมาก	พืชส่วนใหญ่ไม่สามารถอยู่รอดได้ (ยกเว้นหญ้าหรือพืชบางชนิดที่ทนต่อดินเค็มได้)

ที่มา: Soil and Plant Analysis Council (1999)

อุบลวรรณ (2546) ได้ศึกษาผลของน้ำชะมูลฝอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 50 และ 100 ซึ่งมีค่าซีโอดีเท่ากับ 1,770 3,540 8,850 และ 17,700 mg/L ตามลำดับและมีค่าการนำไฟฟ้าในดินเท่ากับ 1.05 2.06 4.00 และ 8.18 dS/m ตามลำดับ ต่อการเจริญเติบโตของหญ้าทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *P.purpureum* *C.plectostachyus* และ *C. Dactylon* ทำการทดลองเป็นเวลา 16 สัปดาห์ ผลการทดลองสรุปได้ว่าน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นร้อยละ 50 และ 100 มีผลทำให้หญ้าทั้งสามชนิดตาย และการรดน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นร้อยละ 10 สามารถเร่งการเจริญเติบโตของหญ้าทั้งสามชนิดได้ดีกว่าการรดชะมูลฝอยความเข้มข้นร้อยละ 0

Hernandez *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาในหญ้าหนวดข้าว *Hordeum murinum* L. โดยรดด้วยน้ำชะมูลฝอย A, B และ C เป็นระยะเวลา 90 วัน ส่งผลให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 6.23 12.50 และ 25.13 ds/m ตามลำดับ พบว่าน้ำหนักแห้งของพืชถูกยับยั้งที่ค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 25.13 ds/m ส่วนที่ค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 6.23 และ 12.50 ds/m พืชมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามความเค็ม

6. อิทธิพลของพืชต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในหน้าดิน

การนำพืชปลูกบนหน้าดินฝังกลบช่วยป้องกันการพังทลายของหน้าดินฝังกลบ นอกจากนี้ ระบบรากยังทำหน้าที่เคลื่อนย้ายก๊าซออกซิเจนและก๊าซอื่นๆ จากยอดไปยังรากและจากรากไปยังยอด จึงเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับดิน (ประภาภรณ์, 2543) ซึ่งช่วยในกระบวนการย่อยสลายมีเทน

Maurice and Lagerkvist (1998) ได้ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ระดับความลึกต่างๆ ในดินกลบทับมูลฝอยจาก Hogbytorp พบว่าอัตราส่วนระหว่างก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.25 ที่ระดับลึก 0.6 เมตร และลดลงถึง 0.12 ที่ระดับผิวดินกลบทับ ซึ่งอาจบ่งบอกการเกิดการย่อยสลายก๊าซมีเทน นอกจากนี้ในหน้าดินที่มีการปลูกพืชสามารถช่วยลดการแพร่กระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีค่าต่ำกว่าโดยมีค่าหน้าดินที่ไม่ปลูกพืช ทั้งนี้เนื่องจากพืชสามารถนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

สุรัตน์ (2546) พบว่า ในหน้าดินที่มีการปลูกหญ้าโคสโครอส สามารถช่วยลดการแพร่กระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอัตราการแพร่กระจายมีค่าต่ำกว่าโดยมีค่าหน้าดินที่ไม่ปลูกหญ้าโคสโครอส ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าโคสโครอสสามารถนำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนการลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน ในดินร่วนปนทรายนั้น ลักษณะการทำงานเกิดจากการย่อยสลายของก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์ Methane Forming Bacteria ที่อาศัยอยู่ได้ในหน้าดิน เมื่อหน้าดินมีปริมาณก๊าซออกซิเจนพอเพียงจุลินทรีย์ชนิดนี้ จะใช้ก๊าซมีเทนเป็นอาหารและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Boeckx and Cleemput, 1996)

ลักษณะบางประการของพืชที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งพืชออกเป็นสองประเภท ประเภทแรกได้แก่พืชตระกูลไม้ยืนต้นคือสบู่ดำ และประเภทที่สองได้แก่พืชตระกูลหญ้าได้แก่หญ้าสตาร์และหญ้างินนิสีม่วง

1. สบู่ดำ

สบู่ดำจัดเป็นพืชในวงศ์ Euphorbiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* ชื่อสามัญคือ physic nut เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง และอาจมีความสูงกว่า 5 เมตร อายุยืนกว่า 20 ปี ลำต้นและยอดเกลี้ยงกลาไม่มีขน เนื้อไม้ไม่มีแก่น ระบบรากเป็นแบบรากแก้ว ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว มีใบเคลือบอยู่ที่ผิวใบ ขอบใบมีรอยหยักตื้นๆ ตั้งแต่ 3-7 หยัก กว้างและยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร แผ่นใบมีสีเขียวใบไม้ ใบสบู่ดำมีส่วนของก้านใบเชื่อมติดกับส่วนของลำต้น ก้านใบสีเขียว ความยาวก้านใบประมาณ 2.5-7.5 เซนติเมตร ตำแหน่งของการเกิดใบจะเกิดสลับกัน ดอก ออกบริเวณปลายกิ่ง เป็นดอกไม้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกันแต่อยู่ภายในช่อดอกเดียวกัน โดยออกเป็นช่อบริเวณซอกใบส่วนปลายของยอด ช่อดอกยาวประมาณ 6-10 เซนติเมตร ลักษณะดอกเป็นรูปถ้วย ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียมีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกจำนวน 5 กลีบ เท่าๆ กัน มีต่อมน้ำหวานติดอยู่ที่โคนด้านในของกลีบดอก ดอกตัวผู้มีจำนวนเกสรตัวผู้จำนวน 10 อัน เรียงเป็นวงละ 5 อัน 2 ชั้น ดอกตัวเมียประกอบด้วยรังไข่และยอดเกสรตัวเมียเป็นรูปสามง่าม ส่วนของรังไข่แบ่งออกเป็น 3 พู อัตราส่วนของดอกตัวผู้ : ดอกตัวเมีย ประมาณ 7:1 ผล มีรูปร่างค่อนข้างกลมและป้อม บางทีก็มีเหลี่ยม มี 3 พู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.04 เซนติเมตร ผลสด 1 ผล มีน้ำหนักประมาณ 15.06 กรัม ผลแห้งน้ำหนักจะลดลงเหลือเพียง 2.60 กรัม อายุของผลสบู่ดำตั้งแต่ออกดอกถึงผลแก่ประมาณ 60-90 วัน

2. หญ้างินนิสีม่วง

หญ้างินนิสีม่วง (Purple guinea) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Panicum maximum* TD เป็นพืชที่มีอายุหลายปี การเจริญเติบโตเป็นแบบกอตั้งตรง มีใบขนาดใหญ่ ดอก อ่อนนุ่ม มีลำต้นสูงใหญ่กว่าหญ้างินนิธรรมดา ส่วนของข้อปล้อง กลุ่มดอก (Spilelets) และเมล็ดสีม่วงอมเขียวต่างจากหญ้างินนิพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มีสีเขียว ขนาดของเมล็ดใหญ่กว่ากินนิธรรมดา หญ้างินนิสีม่วงมี

ช่วงเวลาของการเจริญเติบโต ก่อนออกดอกอยู่ระหว่าง 90-110 วัน ความสูงเมื่อเริ่มออกดอก ประมาณ 220 เซนติเมตร สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพร่มเงา เช่นเดียวกับหญ้ากินนีธรรมดา หญ้ากินนีสีม่วงสามารถปลูกได้เกือบทุกสภาพพื้นที่ ตั้งแต่ดินเหนียว จนถึงดินทราย ทนทานต่อสภาพดินค่อนข้างเค็ม ทนแล้ง และสามารถตอบสนองต่อการให้น้ำ และปุ๋ยได้ดี

3. หญ้าสตาร์

หญ้าสตาร์ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cynodon plectostachyus* จัดอยู่ในกลุ่มหญ้าแพรง เป็นหญ้าที่ขึ้นตามธรรมชาติที่ระดับสูงจากน้ำทะเล 800 - 2,000 เมตร พบได้ทั่วไปในประเทศเคนยา ยูกันดา แทนซาเนีย และเอธิโอเปีย ทนต่อสภาพแห้งแล้ง และความเค็มได้ดี ไม่ชอบพื้นที่ที่มีน้ำขัง เจริญเติบโตได้ดีในดินหลายชนิดตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียว และมีปริมาณฝน 500 - 1,200 มิลลิเมตรต่อปี เป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี มีไหล (Stolon) หรือลำต้นที่ใหญ่และแข็งแรงทอดยาวไปตามดิน ลำต้นสูงประมาณ 30 - 90 เซนติเมตร ใบยาว 10 - 25 เซนติเมตร กว้าง 4-7 เซนติเมตร แขนงช่อดอกจะงอขึ้น ไหลจะมีลักษณะที่โค้งงอ หญ้าสตาร์มีประโยชน์ในการอนุรักษ์ดิน ช่วยป้องกันการพังทลายของหน้าดิน และรักษาความชื้นใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ (เฉลิมพล, 2530)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Storey and Jones (1979) ได้ศึกษาการตอบสนองต่อความเค็มใน *Atriplex spongiosa* ที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600 และ 750 มิลลิโมลาร์ และ *Sueda monoica* ที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 50, 500, 1000 และ 1350 มิลลิโมลาร์ พบว่า พืชทั้งสองชนิดมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นที่ความเค็มต่ำ (50-200 มิลลิโมลาร์ ใน *A. spongoisa* และ 50-500 มิลลิโมลาร์ ใน *S. monoica*) *S. monoica* มีความอวบน้ำเพิ่มขึ้น และทนต่อความเค็มได้มากกว่า *A. spongiosa* ปริมาณ Na^+ และ Cl^- ในใบ ต้น และรากของพืชทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณ K^+ ลดลงตามความเค็มที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับเกลือ

ธีรگانต์ (2550) ศึกษาผลความทนเค็มของต้นสบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.) โดยรดด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เป็นเวลา 30 วัน พบว่า น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ ต้น และราก ลดลงตามความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น แต่ที่ความเค็มต่ำ (0.5 เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์) น้ำหนักสดของแต่ละส่วนพืชเพิ่มขึ้น

ส่วนน้ำหนักแห้งของต้นและรากเพิ่มขึ้นที่โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ

Kostopoulou *et al.* (2010) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าสามชนิดได้แก่ *Festuca arundinacea*, *Koeleria macrantha* และ *Cynodon dactylon* ต่อปริมาณโลหะหนักในดิน โดยปลูกบนหลุมฝังกลบขยะในประเทศกรีซ ซึ่งดินฝังกลบชั้นสุดท้ายที่มีการปลูกพืชมีโลหะหนักปนเปื้อนดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินบนหลุมฝังกลบขยะในประเทศกรีซ

Heavy Metal	mg/kg.soil
Zn	25
Cr	18
Cu	20
Ni	22
Pb	7.5
Cd	1.6

ที่มา: Kostopoulou *et al.* (2010)

ผลการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี พบว่า *K. macrantha* ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดังกล่าว ส่วน *C. dactylon* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เมื่อวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักในเนื้อเยื่อพืชพบว่า ในส่วนของรากและลำต้นของ *K. macrantha* มีการปนเปื้อนของโลหะหนักสูงกว่า *C. dactylon* ประมาณ 10 เท่า

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำชะมูลฝอยมารดต้นพืชดังสรุปงานวิจัยในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการนำน้ำชะมูลฝอยมารดต้นพืช

	Aronsson <i>et al.</i> (2009)	Gordon <i>et al.</i> (1989)	Bialowiec <i>et al.</i> (2007)	Zalesny Jr. <i>et al.</i> (2009)	Hernandez <i>et al.</i> (1999)	Fraser <i>et al.</i> (2004)
วัตถุประสงค์	ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชหลังรดด้วยน้ำชะมูลฝอย	ศึกษาการดึงธาตุอาหารจากน้ำชะมูลฝอยไปใช้โดยพืชและคูการเจริญเติบโตของพืช	ศึกษาการใช้ น้ำของพืชเปรียบเทียบกับระหว่างปลูกในสถานที่ปกติกกับบนหลุมฝังกลบ	ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชหลังรดด้วยน้ำชะมูลฝอย	ศึกษาผลกระทบจากดินเค็มเนื่องจากรดด้วยน้ำชะมูลฝอยต่อการเจริญเติบโตของพืช	ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในดินที่มีการปนเปื้อนน้ำชะมูลฝอยโดยพืช
ประเทศ	สวีเดน	แคนาดา	โปแลนด์	สหรัฐฯ	สเปน	สหรัฐฯ
ชนิดพืช	<i>Salix dasyclados</i>	<i>Acer rubrum</i> L., <i>Acer saccharum</i> Marsh	<i>Salix amygdalina</i> L.	<i>Populus</i>	<i>Trifolium glomera tum</i> L., <i>Hordeum murinum</i> L.	<i>Scirpus validus</i> , <i>Typha latifolia</i>
ระยะเวลา	3 ปี	12 สัปดาห์	2 ปี	70 วัน	12 สัปดาห์	12 สัปดาห์
สถานที่เพาะปลูก	หลุมฝังกลบ	กระถาง	แปลงปลูก	Green house	Green house	บึงประดิษฐ์

ตารางที่ 8 (ต่อ)

	Aronsson <i>et al.</i> (2009)	Gordon <i>et al.</i> (1989)	Bialowiec <i>et al.</i> (2007)	Zalesny Jr. <i>et al.</i> (2009)	Hernandez <i>et al.</i> (1999)	Fraser <i>et al.</i> (2004)
ลักษณะน้ำ						
ชะมูลฝอย						
- pH	6.7	5.5	6.82	8.0	9.1	-
- อุณหภูมิ (°C)	-	4.0	-	21	23.8	-
- EC (mScm ⁻¹)	-	-	12.3	8.7	29,960	-
- Tot-N (mgL ⁻¹)	242	-	-	420	-	-
- NH ₄ -N (mgL ⁻¹)	205	40.0	5.919	-	310	-
- NO ₃ -N (mgL ⁻¹)	2.26	-	-	-	64	-
- TKN (mgL ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
- TOC (mgL ⁻¹)	565	-	-	-	-	-
- Tot-P (mgL ⁻¹)	1.49	0.5	0.036	1.6	-	-
ปริมาณน้ำที่รด	33 mm/d	3 mm/d	1-5 mm/d	-	50 ml/d	-
ผลการทดลอง	พืชที่รด ด้วยน้ำ สะอาด	ที่ความ เข้มข้น 50% พืช สามารถ นำธาตุ อาหารไป ใช้ได้ดี ที่สุดและ มีการ เจริญเติบโต ดีที่สุด	พืชที่ปลูก บนหลุม ฝังกลบมี อัตราการ ใช้น้ำ มากกว่า พืชที่ปลูก ใน สถานที่ ปกติ	ความสูง เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ลำต้นและ จำนวนใบ ของพืชที่ รดด้วยน้ำ ชะมูลฝอย มากกว่า รดด้วยน้ำ สะอาด	การเจริญ เติบโตของ พืชถูก ยับยั้งที่ค่า การนำ ไฟฟ้าของ น้ำชะมูล ฝอย 29,960 μ Scm ⁻¹	น้ำหนัก สดของ พืชที่ เจริญเติบโต ในดิน ปนเปื้อน น้ำชะมูล ฝอยมีค่า มากกว่า ในดิน ปกติ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. พืชที่ใช้ในการทดลอง

1.1 สบู่ดำ (*Jatropha Curcas*) เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง สั่งซื้อจากเกษตรกรจังหวัดระยอง ปลูกจากเมล็ดอายุ 2 เดือน คัดเลือกต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์มาใช้ในการทดลอง

1.2 หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) ใช้ท่อนพันธุ์จากบริเวณภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 หญ้ากินนีสีม่วง (*Panicum maximum*) ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มอบหญ้ากินนีสีม่วงจากไร่สุวรรณ จังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้ในการทดลองซึ่งหญ้ากินนีสีม่วงนี้เป็นสายพันธุ์ใหม่ที่มีความทนแล้งสูง

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการรดน้ำ

2.1 ปัมป์สูบน้ำแบบพกพา ยี่ห้อ MASTERFLEX รุ่น 70 15-20

2.2 สายยางรดน้ำ PVC

2.3 ถังเก็บน้ำขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 6 ถัง

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์

3.1 ถังเก็บน้ำใต้ดิน ตัวถังทำมาจาก PVC พร้อมสายยางสำหรับสูบน้ำเพื่อเก็บตัวอย่าง

3.2 Close flux chamber ขนาดความจุ 20,403.72 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 Safety cap plain tube ขนาด 6 ml ยี่ห้อ VACUETTE

3.4 กระบอกฉีดยา ขนาด 20ml ยี่ห้อ NIPRO

3.5 เข็มฉีดยา ยี่ห้อ NIPRO

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 4.1 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น GC-14B
- 4.2 เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ (Total Organic Carbon Analysis) ในน้ำชะมูลฝอย ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น TOC-5000A
- 4.3 เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ (Total Organic Carbon Analysis) ในดิน ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น SSM-5000A
- 4.4 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ HACH รุ่น DR/4000U
- 4.5 เครื่องชั่งละเอียด ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น TB-224
- 4.6 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
- 4.7 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC meter) ยี่ห้อ DIGICON รุ่น CD-433
- 4.8 ตู้อบ 105 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Binder
- 4.9 เครื่องเหียงสาร ยี่ห้อ TOMY SEIKO รุ่น CD-70SR
- 4.10 เครื่องระเหยด้วยไอน้ำ (Water bath) ยี่ห้อ Heto
- 4.11 ตู้เย็นอุณหภูมิ 20°C
- 4.12 เครื่องแก้วต่างๆ

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

1.1 การวิเคราะห์ดิน

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินกลบทับมูลฝอยชั้นสุดท้ายของหลุมฝังกลบ อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ซึ่งเป็นแหล่งเพาะปลูกพืชที่ใช้ในงานวิจัย โดยลักษณะเนื้อดิน ส่งวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง และวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ทีเคเอ็น แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ตารางที่ 9 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง (ก่อนปลูกพืช)

Parameter	Range	Average
pH	4.8-5.3	5.0
Moisture Content (%)	27.1-31.4	29.3
Density (g/cm ³)	1.05-1.25	1.21
EC (dS/m)	1.03-1.38	1.15
OM (g/kg.soil)	8.81-12.44	10.51
TOC (g/kg.soil)	9.65-11.76	10.27
TKN (µg/g.soil)	447.34-483.93	462.96
NH ₄ ⁺ -N (µg/g.soil)	45.03-54.96	49.82
NO ₃ ⁻ -N (µg/g.soil)	12.48-13.70	13.22
TP (µg/g.soil)	78.28-85.67	81.14
Soil Texture	-	Clay
Sand (%)	-	24
Silt (%)	-	22
Clay (%)	-	54

1.2 การวิเคราะห์น้ำ

พารามิเตอร์ที่ทำกรวิเคราะห์น้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบ ออสโมซิสผันกลับที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า ซีโอดี บีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ทีเคเอ็น แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โซเดียมคลอไรด์ และค่า เอสเออาร์ (SAR: Sodium Adsorption Ratio) โดยเทียบค่า Standard จากกรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ของน้ำขึ้นจากระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบออสโมซิสแบบผันกลับ

Parameter	Range	Average	Standard
pH	8.85-8.95	8.92	5.50-9.00
EC (dS/m)	20.63-24.15	22.90	-
BOD (mg/L)	120-174	135	20
COD (mg/L)	2463-3104	2751	120
SS (mg/L)	258-760	463	50
TDS (g/L)	10.51-17.01	14.54	3.00
TKN (mg/L)	84.0-128.8	103.9	100.0
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	2.24-10.64	7.01	-
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	0.27-5.22	1.89	-
NaCl (%)	3.92-4.74	4.44	-
TP (mg/L)	6.7-15.0	10.5	-
TOC (mg/L)	877.25-1213.5	1021.0	-
SAR	55.73-57.14	56.68	-
Ca (meq/L)	1.14-1.77	1.48	-
Mg (meq/L)	16.56-20.27	18.21	-
Na (meq/L)	168.70-189.96	180.56	-
Cr (mg/L)	-	0.17	-
Cu (mg/L)	-	0.50	-
Ni (mg/L)	-	0.32	-
Pb (mg/L)	-	0.03	-
Cd (mg/L)	-	0.05	-

1.3 การเตรียมพืชที่ใช้ในการวิจัย

1.3.1 สบู่ดำ

ใช้กล้าสบู่ดำอายุ 2 เดือน คัดเลือกต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์เพื่อนำไปปลูกบนหลุมฝังกลบ ก่อนการทดลองรดด้วยน้ำขุ่นไม่ต้องตัดความสูง

1.3.2 หญ้าสตาร์

ใช้ท่อนพันธุ์หญ้าสตาร์ คัดเลือกท่อนพันธุ์ที่แข็งแรงสมบูรณ์และมีรากตามข้อปล้อง จากนั้นตัดท่อนพันธุ์ยาวประมาณ 15-30 เซนติเมตร เพื่อนำไปปลูกบนหลุมฝังกลบ ก่อนการทดลองรดด้วยน้ำขุ่นให้ตัดต้นหญ้าเหลือความยาว 10 เซนติเมตร

1.3.3 หญ้ากีนีสีม่วง

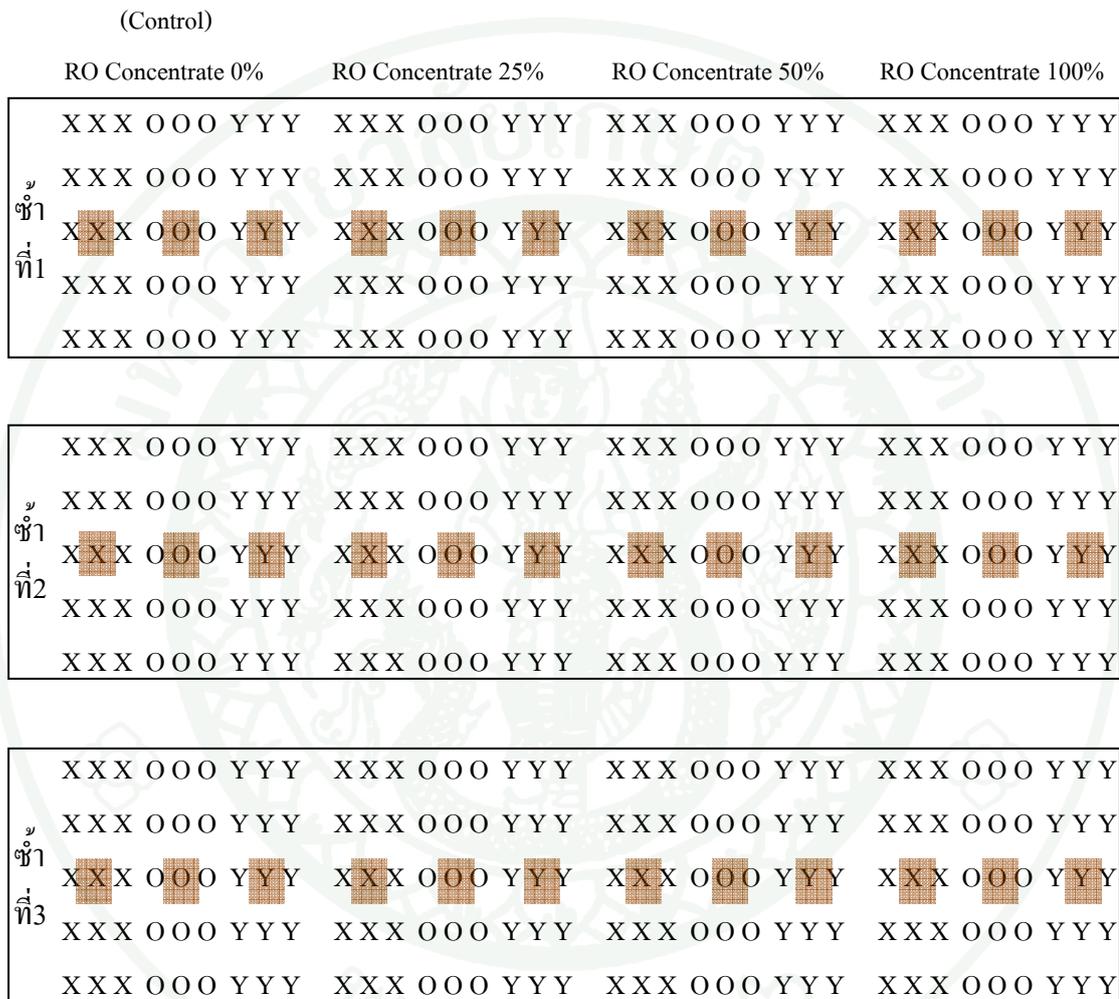
เพาะต้นกล้าหญ้ากีนีสีม่วงด้วยเมล็ด ในถุงเพาะชำขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร ลึก 6 เซนติเมตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ คัดเลือกต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์เพื่อนำไปปลูกบนหลุมฝังกลบ ก่อนการทดลองรดด้วยน้ำขุ่นให้ตัดต้นหญ้าเหลือความยาว 15 เซนติเมตร

2. การศึกษาปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.1 การศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบออสโมซิสแบบผันกลับต่อการเจริญเติบโตของพืช

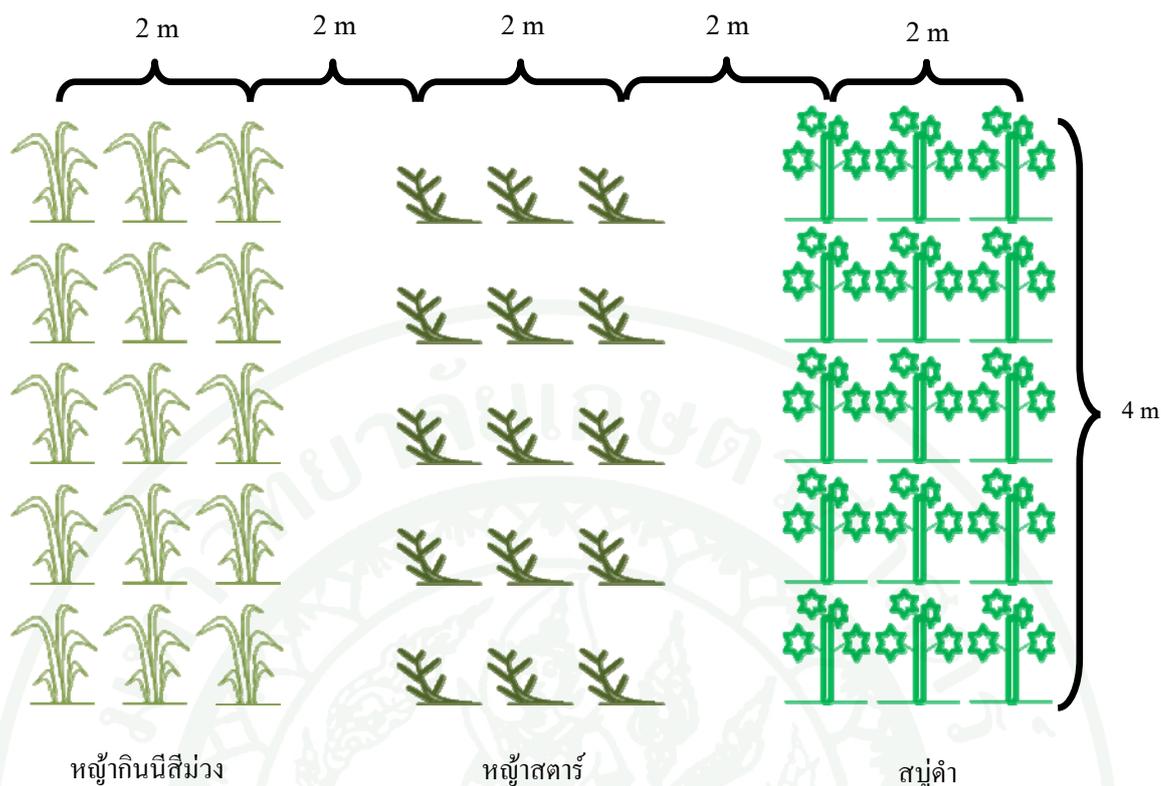
ในการทดลองหาอัตราการเจริญเติบโตของพืชเมื่อรดด้วยน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับ ใช้ความเข้มข้นของน้ำขุ่นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 โดยในการทดลอง แต่ละความเข้มข้นใช้รดพืช 3 ชนิด คือ สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากีนีสีม่วง ปลูกแปลงละชนิด แปลงมีความกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร ในแต่ละแปลงปลูกพืช 15 ต้น ระยะห่างระหว่างต้นคือ 1 x 1 เมตร ระยะห่างระหว่างแปลงคือ 2 เมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ รวมในแต่ละ

ความเข้มข้นปลูกพืช 9 แปลงและใช้พืชในการทดลอง 135 ต้น ตามแผนการปลูกในภาพที่ 4 และภาพที่ 6 โดยมีระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน รดน้ำวันละครั้งบริเวณพื้นที่ 1 ตารางเมตรรอบโคนต้นพืชแต่ละต้น



X หญ้ากีนีสีม่วง O หญ้าสตาร์ Y สบู่ดำ
 จุดเก็บตัวอย่างดิน

ภาพที่ 4 การวางแผนปลูกศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบออสโมซิสแบบผันกลับต่อการเจริญเติบโตของพืช



ภาพที่ 5 ตำแหน่งและระยะห่างของพืชในแต่ละแปลง

2.2 การศึกษาผลของลักษณะน้ำซึมใต้ดินหลังรดด้วยน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบบออสโมซิสแบบผันกลับต่อการเจริญเติบโตของพืช

เก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดินโดยใช้ชุดอุปกรณ์เก็บน้ำซึมใต้ดิน ตัวถังทำมาจาก PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 30 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ตะแกรงกั้นระหว่างกรวดกับน้ำตัวอย่างหนา 0.5 เซนติเมตร สูงจากก้นถึง 5 เซนติเมตร ห้องเก็บน้ำมีความจุ 1.57 ลิตร ท่อสูบน้ำจากห้องเก็บน้ำทำจากสายยาง ยาว 2 เมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร พร้อมปั๊มสูบน้ำแบบพกพา ยี่ห้อ MASTERFLEX รุ่น 70 15 – 20 (ภาพที่ 9) โดยฝังลึก 50 เซนติเมตร กลางแปลงทดลองทุกแปลงที่รดด้วยน้ำขุ่นความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำซึมใต้ดินของพืชแต่ละชนิด และกลางแปลงทดลองซ้ำที่หนึ่งในแปลงที่รดด้วยน้ำขุ่นความเข้มข้น 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อวิเคราะห์หาทิศทางการสะสมของมวลสารรวมเก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดินทั้งสิ้น 15 จุด ดังภาพที่ 6

(Control)

	RO Concentrate 0%	RO Concentrate 25%	RO Concentrate 50%	RO Concentrate 100%
ชุดที่ 1	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	X■X■ 0■0■ Y■Y■	X■X■ 0■0■ Y■Y■	X■X■ 0■0■ Y■Y■
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
ชุดที่ 2	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	X■X■ 0■0■ Y■Y■
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
ชุดที่ 3	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	X■X■ 0■0■ Y■Y■
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY
	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY	XXX 000 YYY

X หญ้ากินนีสีม่วง O หญ้าสตาร์ Y สบู่ดำ

■ จุดเก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดิน

ภาพที่ 6 จุดติดตั้งอุปกรณ์และเก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดินในแปลงทดลอง



ภาพที่ 7 เครื่องมือและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำซึมใต้ดิน

2.3 การศึกษาผลของการสะสมในดินหลังรดด้วยน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยระบบบอสมอซิสแบบผันกลับต่อการเจริญเติบโตของพืช

สุ่มเก็บตัวอย่างดินเดือนละ 1 ครั้ง แปลงละ 1 จุดของทุกแปลงทดลองในทุกซ้ำ จากนั้นทำการผสมดินของในแต่ละซ้ำของชนิดพืชและความเข้มข้นเดียวกันเข้าด้วยกัน รวมเก็บตัวอย่างดินทั้งสิ้น 36 จุด 12 ตัวอย่าง ดังภาพที่ 4

วิธีการเก็บตัวอย่างดินเริ่มจากใช้พลั่วขุดดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมประมาณ 15 เซนติเมตร หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้พลั่วแซะดินข้างหลุม ให้ได้ดินเป็นแผ่นหนาประมาณ 2 – 3 เซนติเมตร จนถึงก้นหลุม ดินที่ได้เก็บรวบรวมใส่ถุงพลาสติก (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2.4 การศึกษาการแพร่ระบายก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบบริเวณที่รดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับต่อการเจริญเติบโตของพืช

ผู้เก็บตัวอย่างก๊าซแปลงละ 1 จุดของทุกแปลงทดลองในซ้ำแรก รวมเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 12 จุด โดยใช้ Close Flux Chamber ขนาดความจุ 20,403.72 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 8) ตำแหน่งที่ทำการวัดจะอยู่ในตำแหน่งเดิมตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาโดยทำการเก็บตัวอย่างห่างจากโคนต้นพืช 10 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ในเขตรากพืช ตัวอย่างก๊าซภายใน Chamber ถูกเก็บเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซมีเทน โดยครอบดักก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจากรดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับเป็นเวลา 0, 5, 15, 30 และ 60 นาที โดยใช้เข็มฉีดยาขนาด 20 ml ดึงก๊าซที่เกิดขึ้นเก็บไว้ใน Safety cap plain tube ขนาด 6 ml เพื่อนำก๊าซไปวิเคราะห์ต่อไป

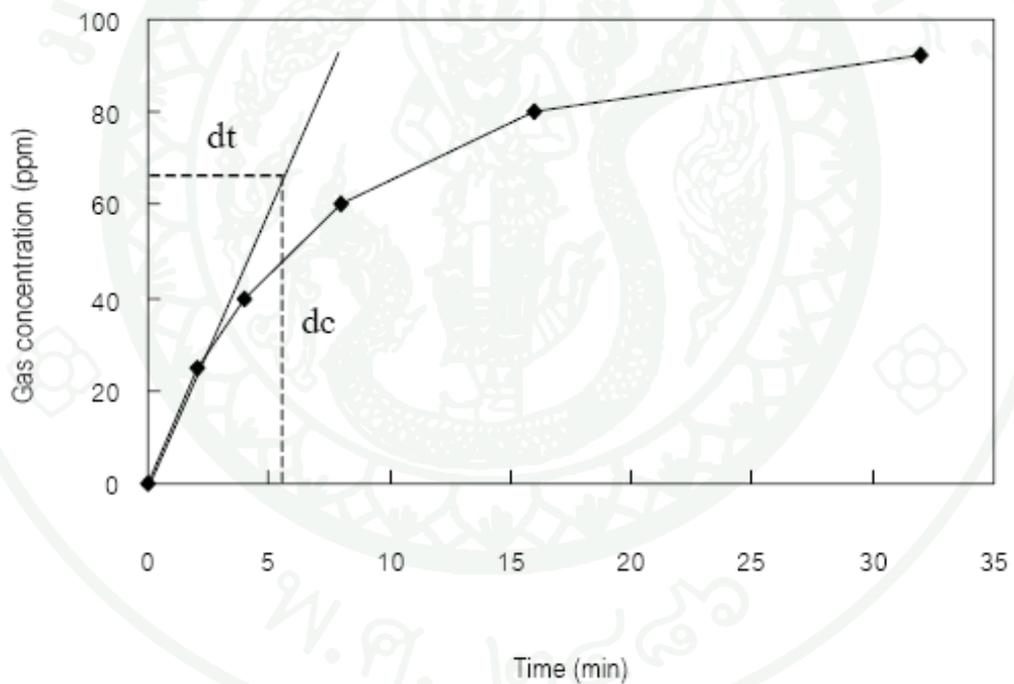


ภาพที่ 8 Close flux chamber

อัตราการแพร่ระบายก๊าซโดยวิธี Close Flux Chamber

$$F = \frac{\rho V \Delta C}{A \Delta t}$$

โดยที่	F	คือ	อัตราของก๊าซที่ระบายออกมาต่อพื้นที่ต่อเวลา ($\text{g/m}^2/\text{s}$)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)
	V	คือ	ปริมาตรของ Chamber (m^3)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของ Chamber ที่ปิดล้อม (m^2)
	ΔC	คือ	ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง (%)
	Δt	คือ	ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ (s)



ภาพที่ 9 ความเข้มข้นของก๊าซที่เพิ่มขึ้นใน Chamber

ที่มา: Maurice and Lagerkvist (1998)

2.5 การควบคุมปัจจัยระหว่างการทดลอง

ปัจจัยที่ควบคุมระหว่างการทดลอง ได้แก่ การรดน้ำ โดยรดวันละ 1 ครั้ง ในช่วงเช้า (เวลา 8.00 – 9.00 น.) ต้นละประมาณ 1 ลิตร บริเวณพื้นที่ 1 ตารางเมตรรอบโคนต้นพืชแต่ละต้น

3. การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดลอง

ใช้ตลับเมตรในการวัดความสูงของพืชโดยเริ่มจากโคนต้นจนถึงยอด หาน้ำหนักสดของพืชก่อนและหลังการทดลองโดยเก็บตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักภายในหนึ่งวันด้วยเครื่องชั่งยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น TB-224 และหาปริมาณไนโตรเจนในพืชก่อนและหลังการทดลองโดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

4. การวิเคราะห์พารามิเตอร์

4.1 ความถี่ของการวิเคราะห์พารามิเตอร์

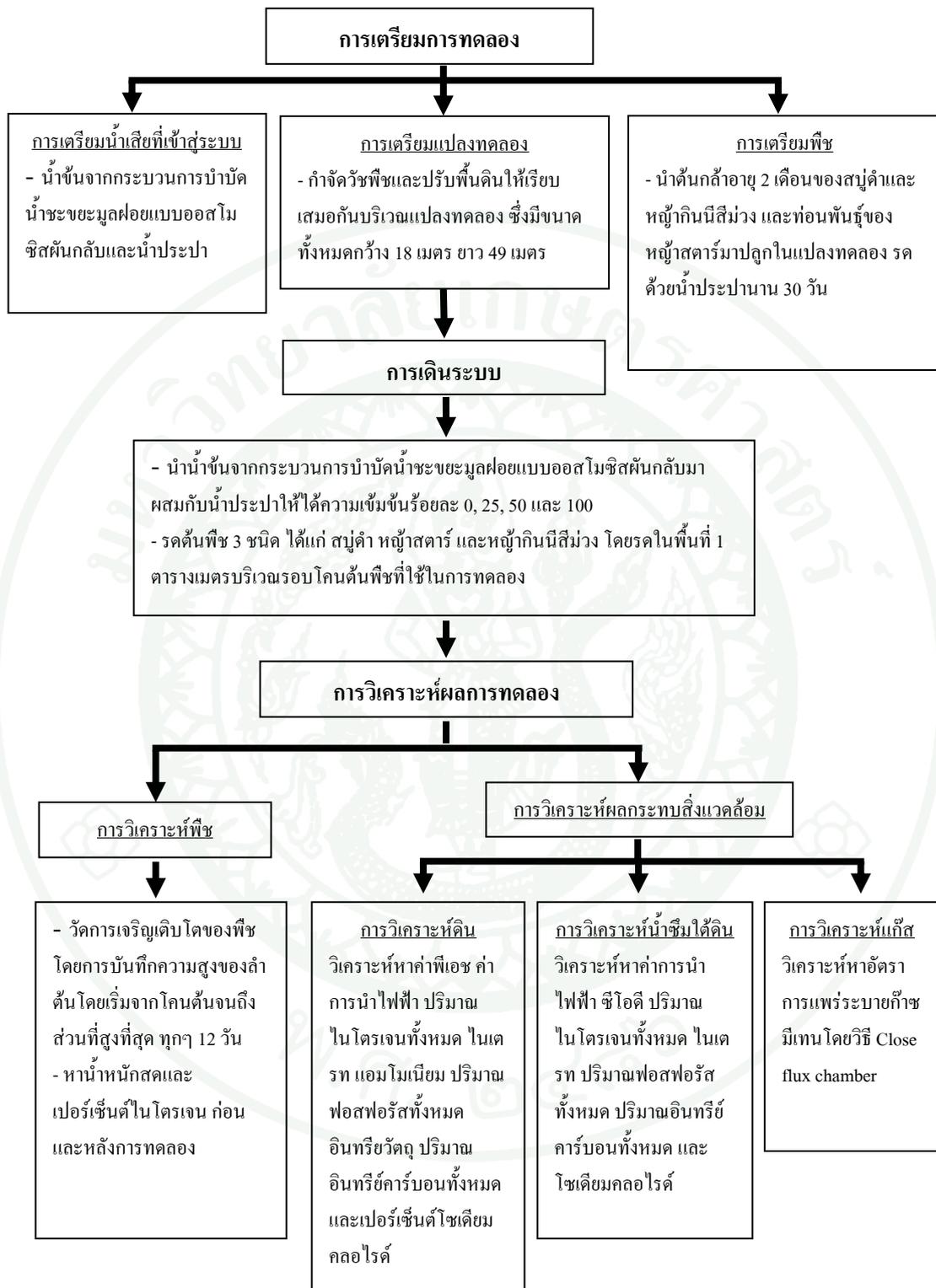
เก็บตัวอย่างของแต่ละสภาวะ (3 ซ้ำ) ผสมให้เข้ากันเป็น 1 ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ดัชนี (ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) เพื่อศึกษาการนำน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช โดยมีความถี่ของการวิเคราะห์ตัวอย่างและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความถี่ของการวิเคราะห์ตัวอย่างและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ความถี่ (ต่อครั้ง)	เครื่องมือ/วิธี ในการตรวจวัด
Wastewater		
pH	2 สัปดาห์	pH meter
Temperature	2 สัปดาห์	Thermometer
Total Dissolved Solids (%)	2 สัปดาห์	Dried at 103-105 °C
SS (mg/L)	2 สัปดาห์	Dried at 103-105 °C
EC(dS/m)	2 สัปดาห์	EC meter
NaCl (%)	2 สัปดาห์	
COD (mg/L)	1 เดือน	Close reflux method
BOD (mg/L)	1 เดือน	Azide modification
TOC (mg/L)	1 เดือน	เครื่องวิเคราะห์ TOC
TKN (mg/L)	1 เดือน	Titrimetric method
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	1 เดือน	Titrimetric method
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	1 เดือน	Colorimetric method
TP (mg/L)	1 เดือน	Colorimetric method
Soil		
pH	2 สัปดาห์	pH meter
Temperature	2 สัปดาห์	Thermometer
EC (dS/m)	2 สัปดาห์	EC meter

ตารางที่ 11 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความถี่ (ต่อครั้ง)	เครื่องมือ/วิธี ในการตรวจวัด
Organic matter (%)	1 เดือน	Dichromate oxidation
TOC (mg/L)	1 เดือน	เครื่องวิเคราะห์ TOC
TKN (mg/L)	1 เดือน	Acid digestion/ spectrometric method
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	1 เดือน	KCl extraction/ spectrometric method
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	1 เดือน	KCl extraction/ spectrometric method
TP (mg/L)	1 เดือน	Acid digestion/ spectrometric method
Gas		
CH ₄	2 เดือน	Gas Chromatograph; GC
Plant		
Height	12 วัน	ตลับเมตร
Wet weight	ก่อนและหลังการทดลอง	เครื่องชั่งน้ำหนัก
Nitrogen (%)	ก่อนและหลังการทดลอง	In-house method based on carbon/nitrogen analyzer



ภาพที่ 10 แผนผังการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

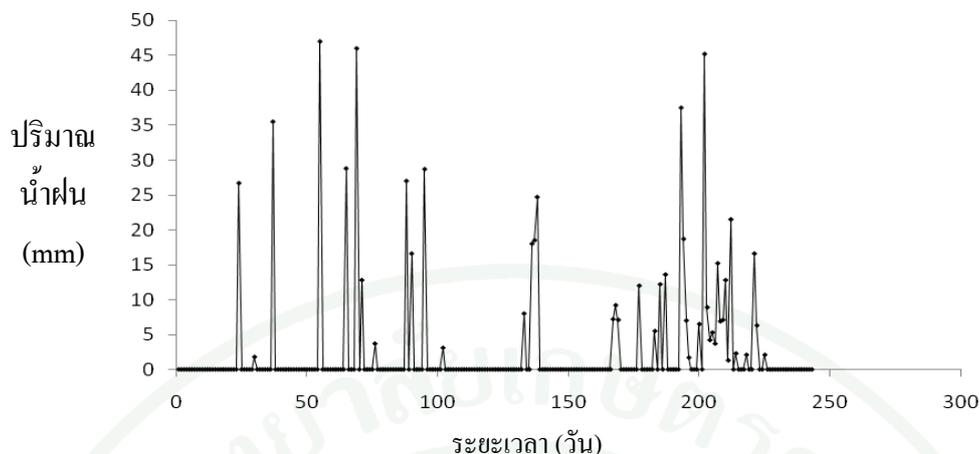
การทดลองนี้ศึกษาการนำน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบ ซึ่งพืชที่ใช้ในการทดลอง คือ สนุ่นดำ (*Jatropha curcas*) หญ้าสตาร์ (*Cynodon plectostachyus*) และหญ้ากินนีสีม่วง (*Panicum maximum*) น้ำสำหรับรดต้นพืชที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้จากการผสมน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับกับน้ำประปา ให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 โดยใช้ดัชนีความสูงของต้นพืชและน้ำหนักสดเป็นตัวชี้วัดความเจริญเติบโต ระยะเวลาดำเนินการ 8 เดือน สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำซึมใต้ดิน ลักษณะดิน และอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทน ของแต่ละความเข้มข้นของน้ำขึ้นในแต่ละชนิดพืช โดยการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ได้ทำซ้ำ 3 ครั้ง ระยะเวลาดำเนินการ 6 เดือน โดยรายละเอียดการทดลองมีดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของแปลงทดลองในพื้นที่ศึกษา

การศึกษานำน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝังกลบในครั้งนี้ ทำการศึกษาโดยใช้แปลงทดลองซึ่งอยู่บนหน้าดินปิดทับหลุมฝังกลบของสถานที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2554 ถึงวันที่ 14 ตุลาคม 2554 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 243 วัน ซึ่งมีผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของแปลงทดลอง ดังนี้

1.1 ปริมาณน้ำฝน

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี กรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงทำ การทดลองระหว่างวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2554 ถึงวันที่ 14 ตุลาคม 2554 รวมทั้งสิ้นมีฝนตก 38 วัน มีปริมาณฝนรวม 617.4 มิลลิเมตร ซึ่งเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณฝนน้อยที่สุดคือ 0 มิลลิเมตร และเดือนกันยายนมีปริมาณฝนมากที่สุดคือ 138.6 มิลลิเมตร

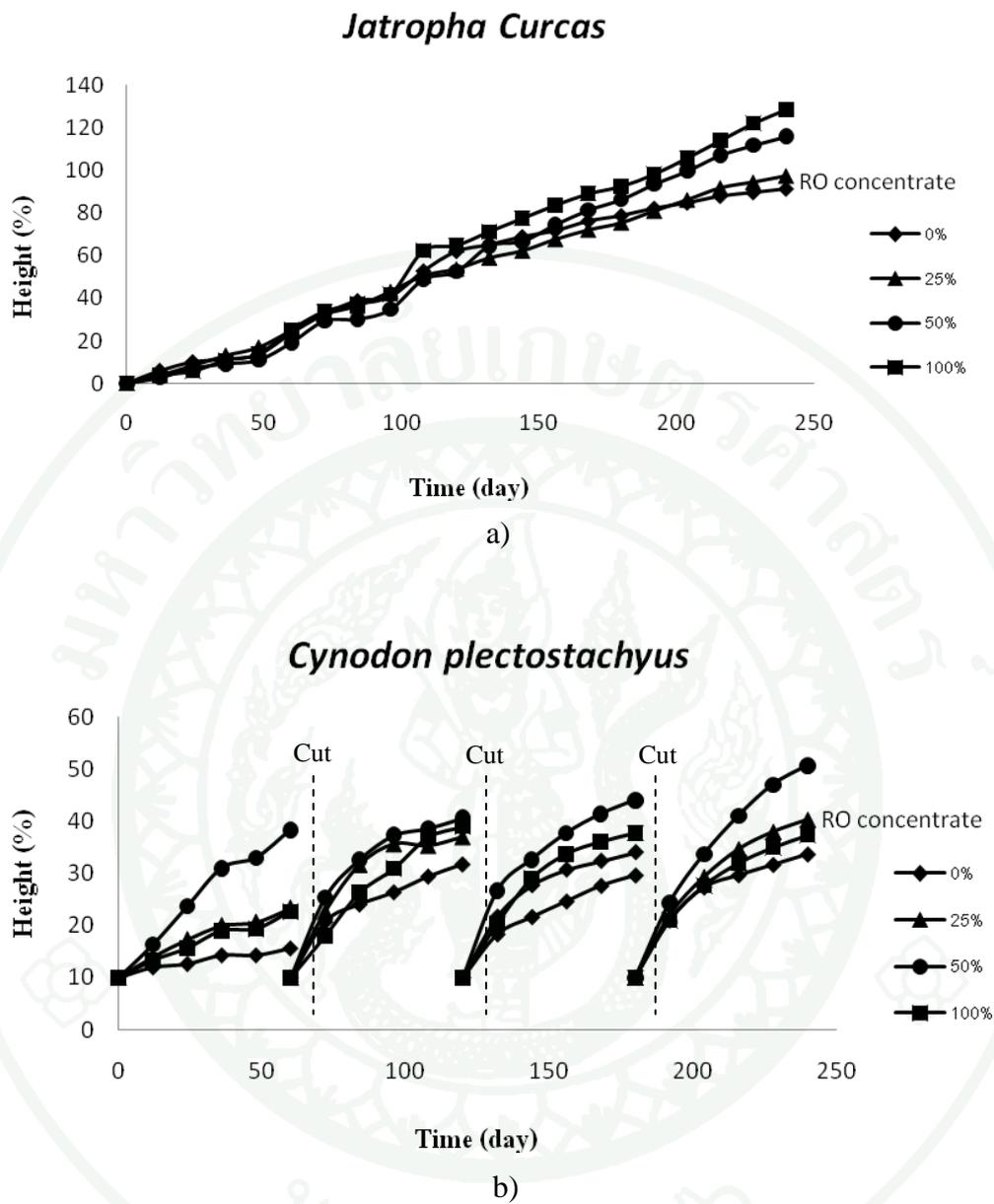


ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำฝน (mm) บริเวณแปลงทดลอง

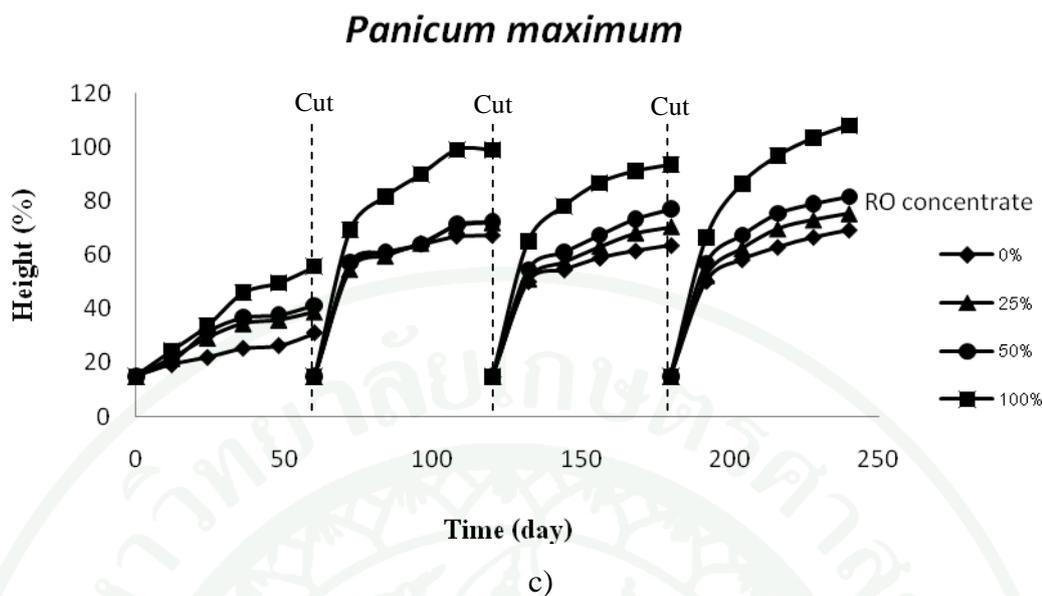
2. การเจริญเติบโตของพืช

จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชบนหน้าดินที่มีการรดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ถึงเดือนตุลาคม 2554 (8 เดือน) การเจริญเติบโตของพืช เมื่อวิเคราะห์จากความสูงของลำต้น แสดงดังภาพที่ 12 โดยหญ้าสตาและหญ้ากินนีสีม่วง ซึ่งเป็นพืชตระกูลหญ้า จะทำการตัดให้ได้ความสูง 15 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ในทุก 2 เดือน สำหรับสบูดำ ซึ่งเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางจะไม่มี การตัดลำต้น ดังนั้นความสูงเมื่อเริ่มทดลองจึงไม่เท่ากัน ดัชนีความสูงที่ใช้วัดจึงใช้เป็นร้อยละความสูงที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองค่าความเข้มข้นของน้ำขึ้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด โดยการเจริญเติบโตของสบูดำพบว่า ในช่วง 3 เดือนแรก ร้อยละความสูงที่เพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังจากนั้นค่าเริ่มต่างกันอย่างชัดเจน โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในเดือนที่ 8 พบว่า สบูดำที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 0 25 50 และ 100 มีร้อยละความสูงที่เพิ่มขึ้น 91.15, 97.22, 115.92 และ 128.41 ตามลำดับ ส่วนการเจริญเติบโตของหญ้าสตาพบว่า ความสูงของหญ้าสตาที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 0 25 50 และ 100 ตลอดระยะเวลาทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.10, 25.35, 30.67 และ 24.63 เซนติเมตร ตามลำดับ และการเจริญเติบโตของหญ้ากินนีสีม่วงพบว่า ความสูงของหญ้ากินนีสีม่วงที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 0 25 50 และ 100 ตลอดระยะเวลาทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.61, 49.35, 51.96 และ 65.96 เซนติเมตร ตามลำดับ



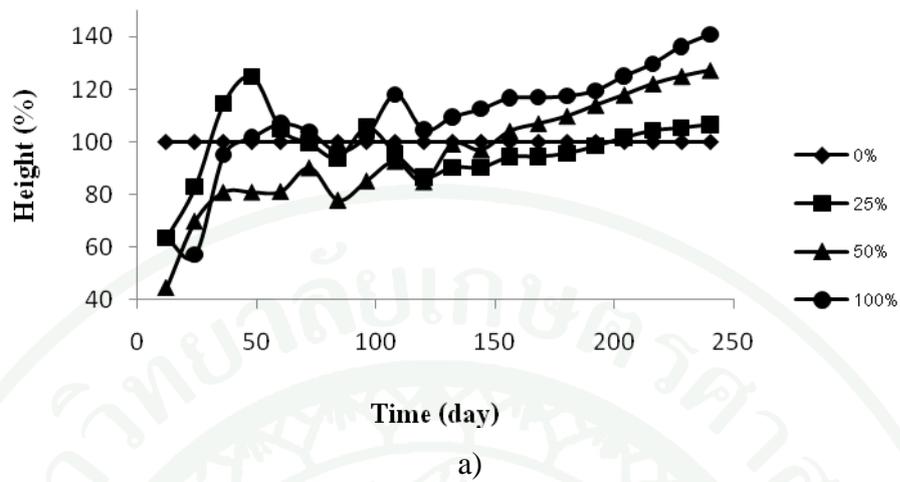
ภาพที่ 12 ความสูงเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นจากระบบการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบ
 ออสโมซิสผันกลับในความเข้มข้นต่างๆ a) สนุ่นดำ, b) หญ้าสตาร์ และ c) หญ้ากินนีสีม่วง



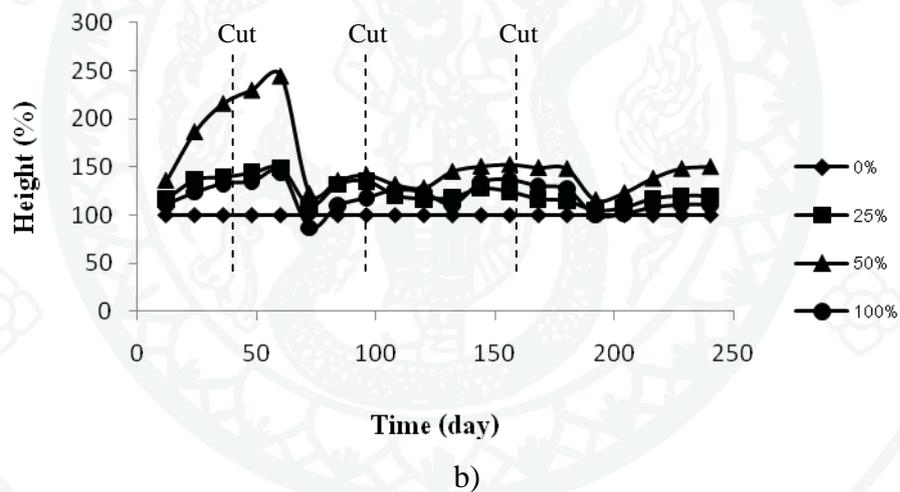
ภาพที่ 12 (ต่อ)

การศึกษาความสูงของพืชเมื่อรดด้วยน้ำจืดจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบ ออสโมซิสผันกลับ โดยเปรียบเทียบกับความสูงของพืชที่รดด้วยน้ำประปาแสดงดังภาพที่ 13 พบว่า ในสัปดาห์ ช่วง 60 วันแรกเมื่อรดด้วยน้ำจืดความเข้มข้นร้อยละ 25 จะทำให้สัปดาห์มีร้อยละความสูง มากที่สุด แต่หลังจาก 60 วัน พบว่าเมื่อรดด้วยน้ำจืดความเข้มข้นร้อยละ 100 จะทำให้สัปดาห์มีร้อยละ ความสูงมากที่สุด ในหุ้สตาร์พบว่าเมื่อรดด้วยน้ำจืดความเข้มข้นร้อยละ 50 จะทำให้หุ้ สตาร์มีร้อยละความสูงมากที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง และในหุ้กีนีสีม่วงพบว่า เมื่อรด ด้วยน้ำจืดความเข้มข้นร้อยละ 100 จะทำให้หุ้กีนีสีม่วงมีร้อยละความสูงมากที่สุดตลอด ระยะเวลาการทดลอง

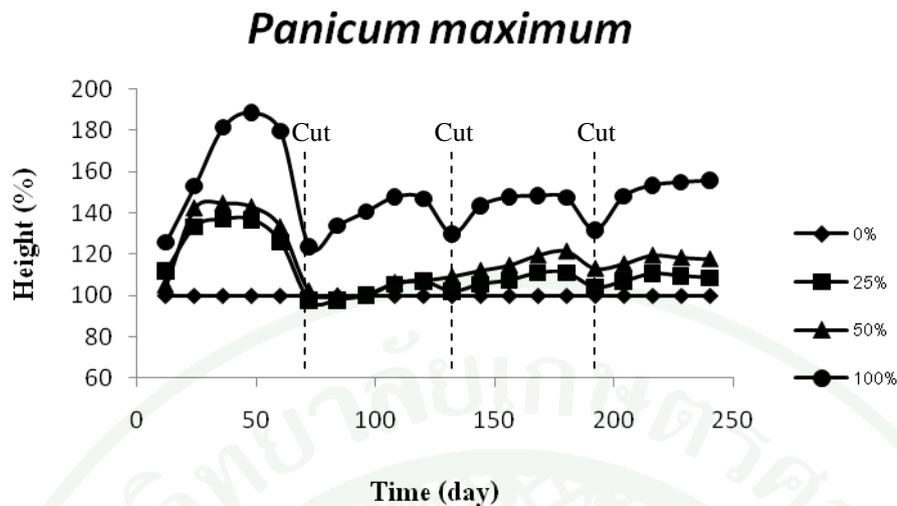
Jatropha Curcus



Cynodon plectostachyus



ภาพที่ 13 ร้อยละความสูงเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นจากระบบการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบ ออสโมซิสผันกลับในความเข้มข้นต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับความสูงของพืชที่รดด้วย น้ำประปา a) สนุ่นดำ, b) หญ้าสตาร์ และ c) หญ้ากินนีสีม่วง



c)

ภาพที่ 13 (ต่อ)

อัตราการเจริญเติบโตในด้านความสูงของพืชที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 12) พบว่า เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 0 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีอัตราการเจริญเติบโต 0.35, 0.30 และ 0.72 เซนติเมตรต่อวันตามลำดับ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 25 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีอัตราการเจริญเติบโต 0.29, 0.39 และ 0.82 เซนติเมตรต่อวันตามลำดับ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีอัตราการเจริญเติบโต 0.36, 0.56 และ 0.89 เซนติเมตรต่อวันตามลำดับ และเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีอัตราการเจริญเติบโต 0.46, 0.40 และ 1.24 เซนติเมตรต่อวันตามลำดับ

จากผลการทดลองอัตราการเจริญเติบโตในด้านความสูงของพืชที่ใช้ในการทดลองพบว่าหญ้างินนิสีม่วงมีอัตราการเจริญเติบโต (เซนติเมตรต่อวัน) มากที่สุดในทุกความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ใช้รดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ดังนั้นหญ้างินนิสีม่วงจึงเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกโดยรดด้วยน้ำขึ้นเมื่อพิจารณาจากอัตราการเจริญเติบโตในด้านความสูง

ตารางที่ 12 อัตราการเจริญเติบโตในด้านความสูงของพืชในการทดลอง (เซนติเมตรต่อวัน)

ชนิดพืช	RO concentrate			
	0%	25%	50%	100%
สบู่ดำ	0.35	0.29	0.36	0.46
หญ้าสตาร์	0.30	0.39	0.56	0.40
หญ้างินนิสีม่วง	0.72	0.82	0.89	1.24

น้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นของพืชเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 13) พบว่า เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 0 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 436.51, 147.83 และ 1949.69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 25 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 528.5, 208.33 และ 2126.05 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 568.78, 282.19 และ 3994.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100 สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 603.00, 156.79 และ 5173.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

น้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นของพืชที่ใช้ในการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า หญ้างินนิสีม่วงมีน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดในทุกความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ใช้รดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ดังนั้นหญ้างินนิสีม่วงจึงเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกโดยรดด้วยน้ำขึ้นเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าน้ำหนักสด (ตารางที่ 13) ของสบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความสูง (ภาพที่ 12) แสดงว่าพืชมีการเจริญเติบโตทั้งความสูงและน้ำหนักสดไปในทิศทางเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าหญ้างินนิสีม่วงเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการรดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับเนื่องจากมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นในทุกค่าความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ใช้รด

จากผลการทดลองปริมาณไนโตรเจนในพืชทั้งสามชนิด (ตารางที่ 13) พบว่าก่อนการทดลอง สบู่ดำ หญ้าสตาตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง มีปริมาณไนโตรเจน 0.27, 0.56 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังการทดลองพบว่าพืชทั้งสามชนิดมีปริมาณไนโตรเจนในทิศทางเดียวกันกับค่าการเจริญเติบโต (ความสูงและน้ำหนักสด) กล่าวคือ สบู่ดำมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100 รองลงมาคือ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50, 25 และ 0 ตามลำดับ หญ้าสตาตาร์มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50 รองลงมาคือ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 25, 100 และ 0 ตามลำดับ และหญ้างินนิสีม่วงมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100 รองลงมาคือ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50, 25 และ 0 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 น้ำหนักสดและปริมาณไนโตรเจน ก่อนและหลังการทดลองของสบู่ดำ หญ้าสตาตาร์ และหญ้างินนิสีม่วง

ชนิดพืช	ความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ใช้รด (%)	น้ำหนักสดเฉลี่ย (กรัม)		ร้อยละน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้น	ความชื้น (%)	ไนโตรเจน (ร้อยละ)	
		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
สบู่ดำ	0	504	2200	436.51	12.0	0.27	0.30
	25	421	2225	528.50	11.6	0.27	0.36
	50	410	2332	568.78	11.8	0.27	0.39
	100	467	2816	603.00	11.7	0.27	0.41
หญ้าสตาตาร์	0	16.1	23.8	147.83	10.9	0.56	0.59
	25	14.4	30.0	208.33	10.7	0.56	0.72
	50	14.6	41.2	282.19	11.0	0.56	0.99
	100	16.2	25.4	156.79	10.7	0.56	0.69
หญ้างินนิสีม่วง	0	32.2	627.8	1949.69	9.6	0.44	0.46
	25	33.4	710.1	2126.05	9.5	0.44	0.59
	50	31.7	1266.2	3994.32	9.7	0.44	0.73
	100	35.0	1810.6	5173.14	9.8	0.44	0.79

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ผลผลิตต่อต้นของพืชตระกูลหญ้าระหว่างการทดลอง

ร้อยละ น้ำขุ่น	ตัดครั้งที่	หญ้าสด			หญ้ากินนีสีม่วง		
		ความสูง ใบที่ตัด (ซม.)	น้ำหนัก สดใบ (กรัม)	น้ำหนัก สดราก (กรัม)	ความสูง ใบที่ตัด (ซม.)	น้ำหนัก สดใบ (กรัม)	น้ำหนัก สดราก (กรัม)
0	1	15.67	14.41	5.76	31.00	65.70	98.55
	2	31.67	24.10	9.64	67.33	181.03	271.55
	3	29.67	22.89	9.16	63.33	168.33	252.50
	สิ้นสุด	33.67	25.31	10.12	69.33	187.38	281.07
	รวม	110.68	86.72	34.68	230.99	602.43	903.67
25	1	23.33	19.05	7.62	39.00	91.09	136.64
	2	37.00	27.33	10.93	72.00	195.85	293.78
	3	34.00	25.51	10.20	70.33	190.55	285.83
	สิ้นสุด	40.33	29.35	11.74	75.33	206.43	309.65
	รวม	134.66	101.25	40.49	256.66	683.92	1025.9
50	1	38.33	28.14	11.26	41.33	98.49	147.74
	2	40.67	29.56	11.82	72.33	196.90	295.35
	3	44.00	31.57	12.63	77.00	211.73	317.60
	สิ้นสุด	50.67	35.61	14.24	81.67	226.55	339.83
	รวม	173.67	124.88	49.95	272.33	733.67	1100.52
100	1	22.67	18.65	7.46	55.67	144.01	216.02
	2	39.00	28.54	11.42	99.00	281.57	422.36
	3	37.67	27.74	11.10	93.33	263.57	395.36
	สิ้นสุด	37.33	27.53	11.01	108.00	310.14	465.21
	รวม	136.67	102.46	40.99	356.00	999.29	1498.95

2.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สมมติฐานที่ 1

H0 : ความเข้มข้นของน้ำขี้ที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *J. curcas* (สบู่ดำ) ไม่แตกต่างกัน

H1 : ความเข้มข้นของน้ำขี้ที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *J. curcas* (สบู่ดำ) แตกต่างกัน

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขี้กับอัตราการเจริญเติบโตของ *J. curcas* (สบู่ดำ)

ความเข้มข้นน้ำขี้	Mean	Std. Deviation	F	p-value
0%	51.73	31.31	0.34	0.80
25%	50.86	31.50		
50%	54.60	39.08		
100%	60.99	41.74		
Total	54.55	35.77		

จากตารางที่ 15 พบว่าความเข้มข้นของน้ำขี้ที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *J. curcas* (สบู่ดำ) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 0.05 (p-value = 0.8)

สมมติฐานที่ 2

H0 : ความเข้มข้นของน้ำขี้ที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *C. plectostachyus* (หญ้าสตาร์) ไม่แตกต่างกัน

H1 : ความเข้มข้นของน้ำขี้ที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *C. plectostachyus* (หญ้าสตาร์) แตกต่างกัน

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ *C. plectostachyus* (หญ้าสตาร์)

ความเข้มข้นน้ำขึ้น	Mean	Std. Deviation	F	p-value
0%	22.68	7.35	5.60	0.002
25%	27.54	8.49		
50%	33.62	9.97		
100%	26.71	8.96		
Total	27.64	9.44		

จากตารางที่ 16 พบว่าความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *C. plectostachyus* (หญ้าสตาร์) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 0.05 (p-value = 0.002)

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ *C. plectostachyus* (หญ้าสตาร์) รายคู่ด้วยวิธี LSD

ความเข้มข้นน้ำขึ้น	Mean	ความเข้มข้นน้ำขึ้น			
		0%	25%	50%	100%
0%	22.68	-	-4.8567	-10.9362(*)	-4.0310
25%	27.54		-	-6.0795(*)	.8257
50%	33.62			-	6.9052(*)
100%	26.71				-

จากตารางที่ 17 พบว่าผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ *C. plectostachyus* (หญ้าสตาร์) รายคู่ด้วยวิธี LSD ที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 0 มีความแตกต่างกับที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 25 โดยความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 0 มีอัตราการเจริญเติบโตน้อยกว่าที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 25 รวมถึงที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 25 มีความแตกต่างกับที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 50 โดยความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 25 มีอัตราการเจริญเติบโตน้อยกว่าที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 50 และที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 50 มีความ

แตกต่างกับที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 100 โดยความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 50 มีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 100

สมมติฐานที่ 3

H0 : ความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *P. maximum* (หญ่ากินนีสีม่วง) ไม่แตกต่างกัน

H1 : ความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *P. maximum* (หญ่ากินนีสีม่วง) แตกต่างกัน

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ *P. maximum* (หญ่ากินนีสีม่วง)

ความเข้มข้นน้ำขึ้น	Mean	Std. Deviation	F	p-value
0%	49.98	18.32	4.89	0.004
25%	54.25	18.08		
50%	57.24	19.54		
100%	73.24	26.95		
Total	58.68	22.47		

จากตารางที่ 18 พบว่าความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่แตกต่างกันมีอัตราการเจริญเติบโตของ *P. maximum* (หญ่ากินนีสีม่วง) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 0.05 (p-value = 0.004)

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ *P. maximum* (หญือกินีสีม่วง) รายคู่ด้วยวิธี LSD

ความเข้มข้นน้ำขึ้น	Mean	ความเข้มข้นน้ำขึ้น			
		0%	25%	50%	100%
0%	49.98	-	-4.2710	-7.2543	-23.2552(*)
25%	54.25		-	-2.9833	-18.9843(*)
50%	57.24			-	-16.0010(*)
100%	73.24				-

จากตารางที่ 19 พบว่าผลการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของ *P. maximum* (หญือกินีสีม่วง) รายคู่ด้วยวิธี LSD ที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 100 มีความแตกต่างกับที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 0 25 และ 50 โดยความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 100 มีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าที่ความเข้มข้นน้ำขึ้นร้อยละ 0 25 และ 50

3. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำซึมใต้ดิน

ผลการวิเคราะห์น้ำซึมใต้ดินจากอุปกรณ์เก็บน้ำใต้ดินของพืชแต่ละชนิดในแต่ละความเข้มข้นของน้ำขึ้นแสดงดังตารางที่ 20 ตัวอย่างน้ำซึมใต้ดินนี้อาจมีน้ำฝนจากธรรมชาติผสมอยู่ เนื่องจากพื้นที่การทดลองเป็นระบบเปิด จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์แปรปรวนในบางช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่าง ผลจากการวิเคราะห์แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์การบำบัดโดยใช้ตัวอย่างความเข้มข้นของน้ำขึ้นร้อยละ 100 ในแต่ละชนิดพืช เพื่อดูประสิทธิภาพการบำบัดน้ำซึมใต้ดิน พบว่าหญือกินีสีม่วงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำซึมใต้ดินมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในค่า COD, TKN และ TP ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 93.46, 85.74 และ 81.42 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนสับดูคำมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำซึมใต้ดินน้อยที่สุดในทุกพารามิเตอร์น้ำซึมใต้ดิน

เมื่อพิจารณาตามประเภทพืชที่ปลูกบนหน้าดินที่มีการรดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับ พบว่าพืชตระกูลหญ้า ได้แก่ หญือกินีสีม่วงและหญ้าสตาร์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำซึมใต้ดินมากกว่าไม้ยืนต้น ได้แก่ สับดูคำ ดังนั้นสับดูคำจึงไม่

เหมาะสมในการรดด้วยน้ำขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าสตาตาร์และหญ้างินนีสีม่วง เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพการบำบัดน้ำซึมใต้ดิน

ตารางที่ 20 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำซึมใต้ดินของสบู่ดำ หญ้าสตาตาร์ และหญ้างินนีสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100

Parameter	%Removal		
	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Cynodon plectostachyus</i>	<i>Panicum maximum</i>
EC	32.14±6.03	50.09±8.21	59.65±7.73
COD	80.27±1.85	91.08±1.26	93.46±1.99
TKN	77.36±1.61	83.38±1.57	85.74±1.44
NO ₃ ⁻ -N	44.71±9.79	52.12±8.73	53.71±11.91
NaCl	29.82±7.71	44.32±12.04	56.11±10.97
TP	72.13±1.94	77.96±1.58	81.42±1.96
TOC	24.96±8.18	40.10±10.41	46.85±8.95

4. การสะสมในดิน

ผลการวิเคราะห์การสะสมในดินเฉลี่ยระหว่างเดือนเมษายน 2554 ถึงเดือนกันยายน 2554 (6 เดือน) แสดงดังตารางที่ 21 พบว่า ทุกค่าพารามิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำขึ้น จากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับที่สูงมากขึ้น เมื่อพิจารณาตามความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่รด ในความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ร้อยละ 0 พบว่าในดินที่ปลูกสบู่ดำจะมีค่า pH, EC และ NaCl สูงที่สุด ในดินที่ปลูกหญ้าสตาตาร์จะมีค่า OM และ TOC สูงที่สุด และในดินที่ปลูกหญ้างินนีสีม่วงจะมีค่า TKN, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N และ TP สูงที่สุด ในความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ร้อยละ 25 พบว่าในดินที่ปลูกหญ้าสตาตาร์จะมีค่า pH, EC, NH₄⁺-N, TP, TOC, OM และ NaCl สูงที่สุด และในดินที่ปลูกหญ้างินนีสีม่วงจะมีค่า TKN และ NO₃⁻-N สูงที่สุด ในความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ร้อยละ 50 พบว่าในดินที่ปลูกหญ้าสตาตาร์จะมีค่า pH, EC, TP, TOC, OM และ NaCl สูงที่สุด และในดินที่

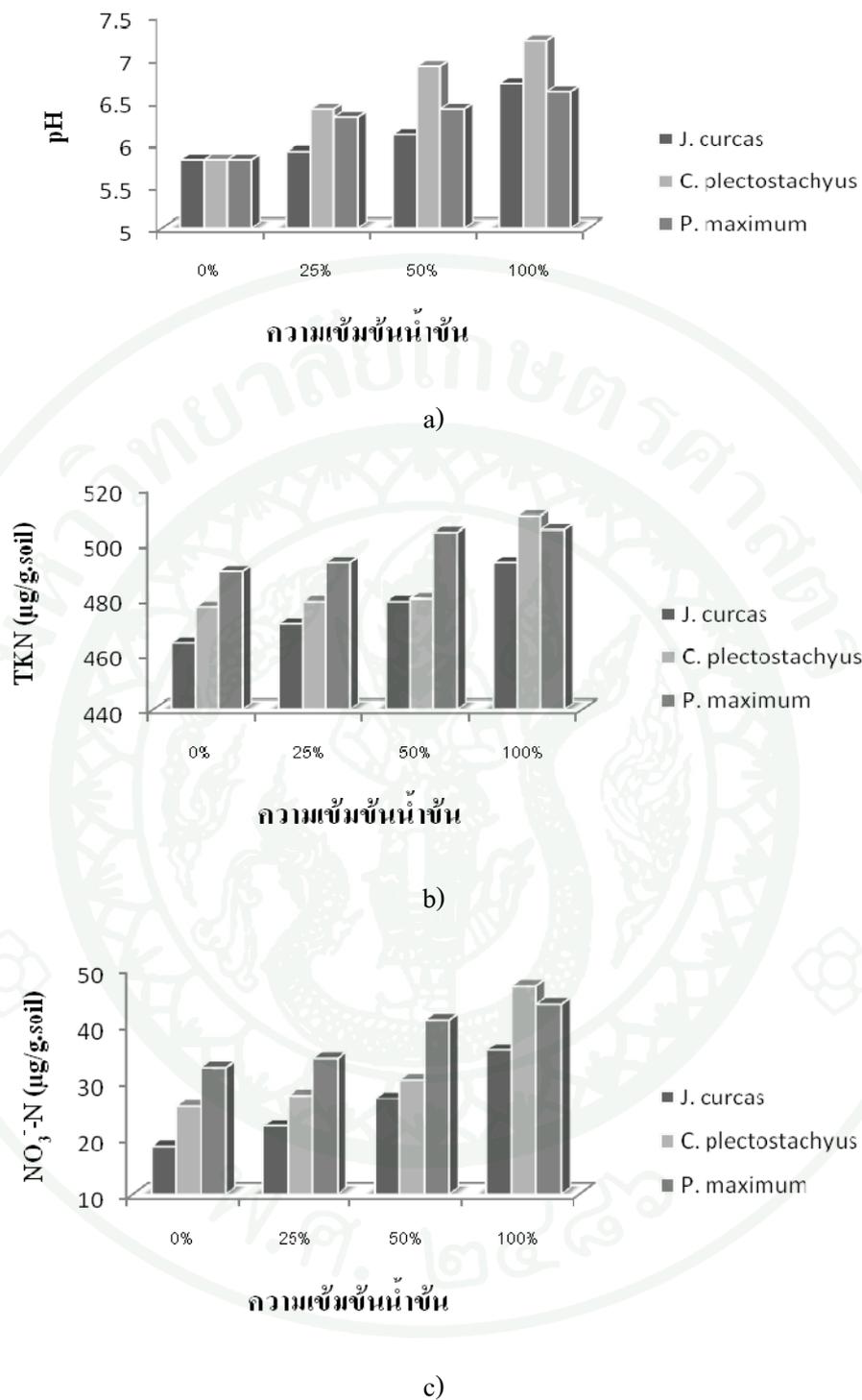
ปลูกหญ้ากีนีสีม่วงจะมีค่า TKN, NO_3^- -N และ NH_4^+ -N สูงที่สุด ในความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่ร้อยละ 100 พบว่าในดินที่ปลูกหญ้าสตาร์จะมีค่า pH, EC, TKN, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, TP, TOC, OM และ NaCl สูงที่สุด

จากผลการวิเคราะห์การสะสมในดินบ่งบอกถึงการสะสมของ pH, EC, TKN, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, TP, TOC, OM และ NaCl จากน้ำขุ่นความเข้มข้นต่างๆที่รดลงไปในดิน พบว่าดินที่ปลูกหญ้าสตาร์เมื่อรดด้วยน้ำประปา (ความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่ร้อยละ 0) จะมีเพียงการสะสมของสารอินทรีย์ในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ปลูกด้วยพืชชนิดอื่น แต่เมื่อรดด้วยน้ำขุ่นในความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสะสมของพารามิเตอร์ต่างๆมากกว่าดินที่ปลูกด้วยพืชชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรดด้วยน้ำขุ่นความเข้มข้นร้อยละ 100 ส่งผลให้ดินที่ปลูกหญ้าสตาร์มีปริมาณสะสมของทุกพารามิเตอร์สูงกว่าดินที่ปลูกด้วยพืชชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง EC และ NaCl ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงค่าความเค็มในดิน หากมีในปริมาณมากจะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งสารอินทรีย์ในดินปริมาณมากอาจส่งผลให้ออกซิเจนในดินลดลง เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ ออกซิเจน ดังนั้นหญ้าสตาร์จึงไม่เหมาะสมในการรดด้วยน้ำขุ่นเมื่อเปรียบเทียบกับสนุ่ดำและหญ้ากีนีสีม่วง เมื่อพิจารณาจากการสะสมในดิน

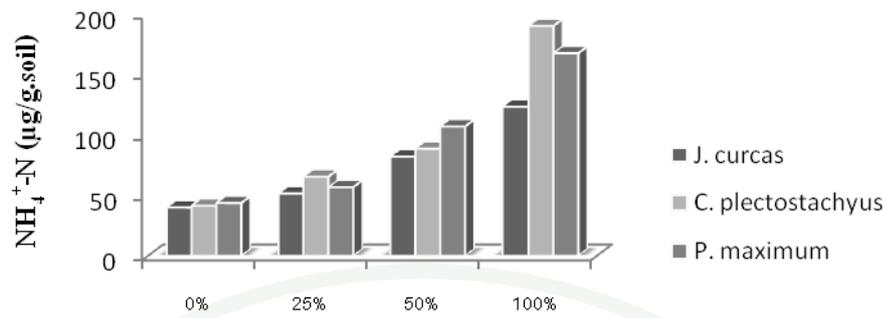
จากผลการทดลองพบว่าหญ้ากีนีสีม่วงมีประสิทธิภาพในการลดความเค็มในดินได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า EC และ NaCl สะสมในดินน้อยที่สุดในทุกความเข้มข้นน้ำขุ่นด้วยกระบวนการการดูดเกลือเข้าไปสะสมหรือคายออก (salt absorption: accumulation, excretion) โดยเกลือที่ถูกดูดเข้าไปจะมีผลต่อขบวนการเมตาบอลิซึมทำให้แรงดันออสโมติกในเซลล์สูงขึ้น ลดความต่างศักย์ของน้ำในเซลล์ และความสามารถในการรักษาความเต่งของเซลล์ ถ้ามีโซเดียมในไซโตพลาสมาเกิน 100 mM ก็จะไปทำลายโครงสร้างของโปรตีนและยับยั้งการทำงานของน้ำย่อย พืชปรับตัวโดยการคายโซเดียมออกมา (exclusion) และนำ โซเดียมไปเก็บไว้ที่ vacuole เพื่อป้องกันการเป็นพิษของโซเดียม และปรับแรงดันออสโมติกใน cytoplasm และ organelles รักษาความเต่งของเซลล์ให้มีระดับความต่างศักย์ของน้ำในพืชต่ำกว่าในดิน ไม่ให้เกิดอันตรายต่อการทำงานของน้ำย่อยและขบวนการ metabolism (Glen, 1987) ดังนั้นหญ้ากีนีสีม่วงจึงเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการรดด้วยน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับบนพื้นที่ฝังกลบเมื่อพิจารณาด้านการลดความเค็มในดิน

ตารางที่ 21 การสะสมในดินที่ปลูกด้วย สบู่ดำ หญ้าสตาบ์ และหญ้านิสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100

RO Conc.	Plant species	pH	EC (dS/m)	TKN (µg/g.soil)	NO ₃ ⁻ -N (µg/g.soil)	NH ₄ ⁺ -N (µg/g.soil)	TP (µg/g.soil)	TOC (g/kg.soil)	OM (g/kg.soil)	NaCl (%)
0%	<i>J. curcas</i>	5.8±1.3	2.25±0.16	464±23	18.5±5.7	40.0±1.55	84.2±13.0	10.2±3.2	14.5±7.0	0.42±0.08
	<i>C. plectostachyus</i>	5.8±0.7	2.13±0.26	477±27	25.6±4.1	41.4±2.15	88.2±17.4	13.0±1.4	15.9±2.5	0.42±0.05
	<i>P. maximum</i>	5.8±0.2	1.96±0.10	490±26	32.5±7.7	43.7±2.6	88.7±11.1	11.4±2.1	14.6±4.4	0.41±0.04
25%	<i>J. curcas</i>	5.9±1.8	2.45±0.25	471±34	22.1±4.8	51.6±3.85	87.5±11.6	12.6±3.7	14.9±4.2	0.44±0.10
	<i>C. plectostachyus</i>	6.4±1.6	2.85±0.51	479±45	27.5±6.2	65.5±6.45	91.4±18.9	15.8±4.0	16.6±4.4	0.55±0.11
	<i>P. maximum</i>	6.3±1.5	2.34±0.20	493±47	34.1±8.5	56.8±3.55	91.1±16.0	14.4±2.6	15.7±3.0	0.41±0.07
50%	<i>J. curcas</i>	6.1±1.9	3.22±0.39	479±29	27.0±3.6	82.2±3.75	89.9±19.7	14.7±3.1	15.2±2.8	0.62±0.18
	<i>C. plectostachyus</i>	6.9±1.7	3.59±0.49	480±49	30.2±5.5	88.7±3.70	95.7±18.2	16.2±3.3	17.0±3.2	0.65±0.20
	<i>P. maximum</i>	6.4±0.8	3.01±0.24	504±62	41.0±6.1	107.1±8.45	93.9±20.8	15.4±2.4	15.9±2.2	0.60±0.14
100%	<i>J. curcas</i>	6.7±1.5	3.80±0.55	493±32	35.6±5.3	123.5±6.15	94.1±15.9	16.7±3.5	16.1±5.1	0.68±0.22
	<i>C. plectostachyus</i>	7.2±1.3	4.38±0.75	510±53	47.0±8.0	190.4±9.8	101.2±22.7	17.3±4.1	17.1±5.2	0.73±0.23
	<i>P. maximum</i>	6.6±1.1	3.54±0.40	505±44	43.7±6.5	167.8±7.35	97.4±13.0	15.9±2.7	16.5±2.9	0.65±0.19

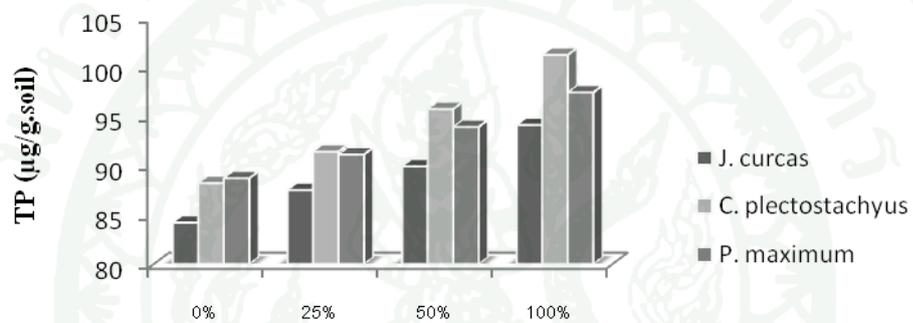


ภาพที่ 14 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ในดินที่ปลูกด้วยพืชต่างชนิดเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับ a) pH, b) TKN, c) $\text{NO}_3^- \text{-N}$, d) $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ e) TP, f) TOC, g) OM, h) EC และ i) NaCl (%)



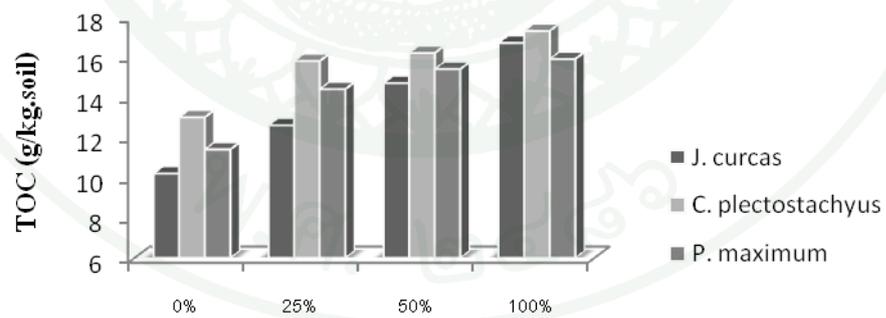
ความเข้มข้นน้ำขุ่น

d)



ความเข้มข้นน้ำขุ่น

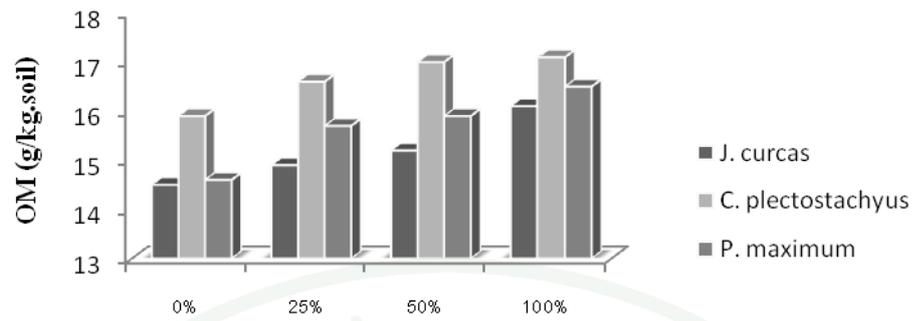
e)



ความเข้มข้นน้ำขุ่น

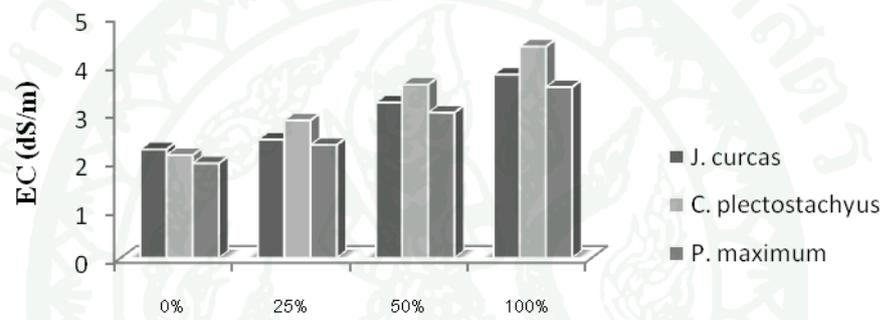
f)

ภาพที่ 14 (ต่อ)



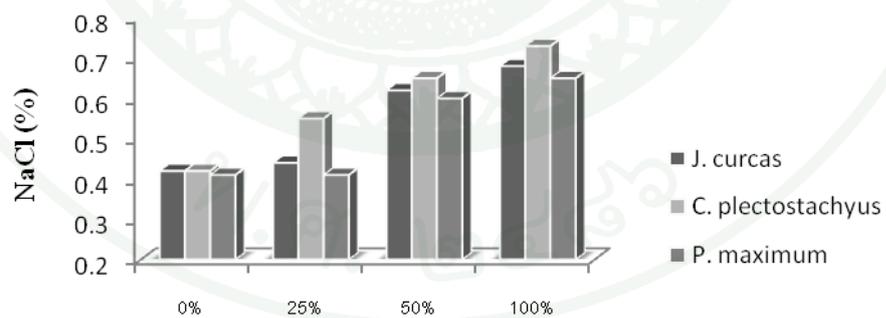
ความเข้มข้นน้ำจืด

g)



ความเข้มข้นน้ำจืด

h)



ความเข้มข้นน้ำจืด

i)

ภาพที่ 14 (ต่อ)

5. ทิศทางการสะสมมวลสารในดินและน้ำซึมใต้ดิน

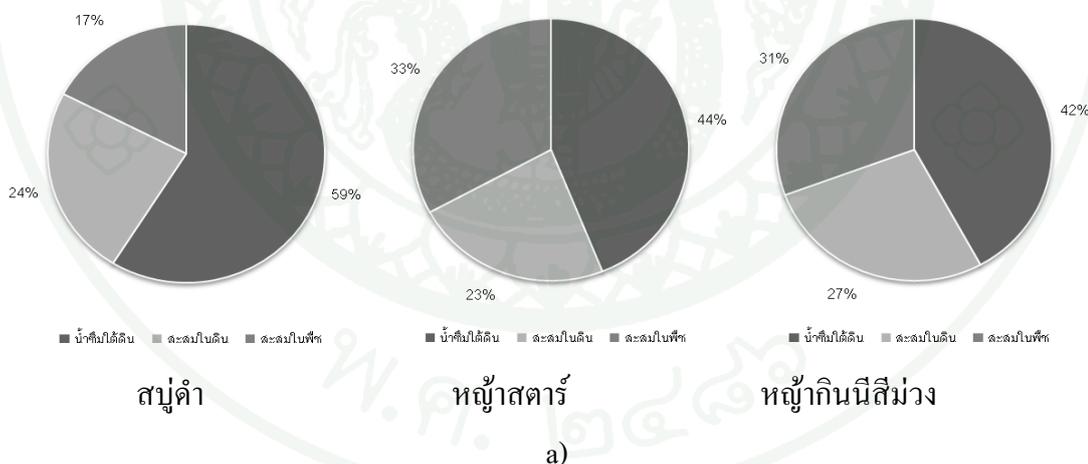
ผลการเปรียบเทียบการสะสมของมวลสารในดินและน้ำซึมใต้ดิน (ตารางที่ 22) ในแปลงการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100 พบว่า แปลงทดลองที่ปลูกด้วยสบู่ดำ มวลสารจะสะสมอยู่ในดินน้อยกว่าแปลงทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าสตาร์และหญ้านิสิ่ม่วง ขณะเดียวกันแปลงทดลองที่ปลูกด้วยสบู่ดำ มวลสารจะสะสมอยู่ในส่วนของน้ำซึมใต้ดินมากกว่าแปลงทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าสตาร์และหญ้านิสิ่ม่วง โดยหลักการแล้วในงานวิจัยนี้ น้ำซึมใต้ดินมีความสำคัญกว่าการสะสมในดินปิดทับหลุมฝังกลบ เนื่องจากน้ำซึมใต้ดินของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยไม่ควรมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สูงเนื่องจากมวลสารจะซึมลงไปสู่ขยะมูลฝอยด้านล่างและก่อให้เกิดปัญหาความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยใหม่ที่จะเกิดขึ้น จึงสรุปได้ว่า หญ้าสตาร์และหญ้านิสิ่ม่วงซึ่งเป็นพืชตระกูลหญ้าเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากสามารถทำให้มวลสารสะสมอยู่ในดินมากกว่าซึมลงใต้ดิน ในส่วนของ EC และ NaCl ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงค่าความเค็มพบว่า แปลงทดลองที่ปลูกด้วยหญ้านิสิ่ม่วงมีค่าน้อยที่สุดทั้งในดินและน้ำซึมใต้ดิน จึงสรุปได้ว่าหญ้านิสิ่ม่วงมีประสิทธิภาพในการลดความเค็มได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสบู่ดำและหญ้าสตาร์

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยการสะสมในดินและน้ำซึมใต้ดินในแปลงการทดลองความเข้มข้นน้ำขุ่นร้อยละ 100 ที่ปลูกด้วยสบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้านิสิ่ม่วง

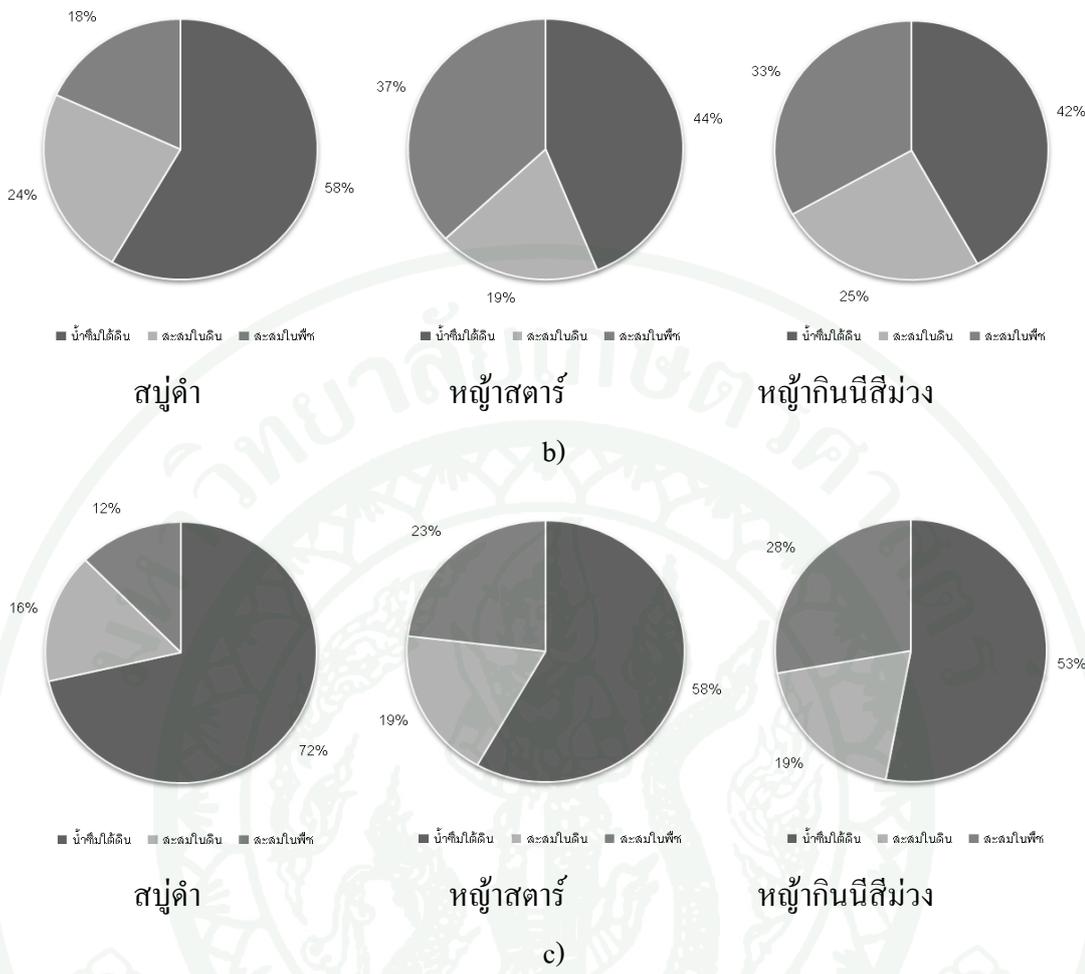
Parameter	Accumulated in Soil ($\mu\text{g/g.soil}$) / Percolated water (mg/L)		
	J. curcas	C. plectostachyus	P. Maximum
TKN	413 / 23.52	510 / 17.36	505 / 14.82
NO_3^- -N	35.6 / 1.04	47.0 / 0.90	43.7 / 0.88
TP	94.1 / 2.93	101.2 / 2.31	97.4 / 1.95
TOC	16700 / 766.16	17300 / 611.58	15900 / 542.66
EC (dS/m)	3.80 / 15.54	4.38 / 11.29	3.54 / 9.24
NaCl (%)	0.68 / 3.12	0.73 / 2.47	0.65 / 1.95

6. ทิศทางการสะสมของไนโตรเจน

การทดลองแบ่งแหล่งการสะสมไนโตรเจนจากน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 25, 50 และ 100 ที่ใช้รดออกเป็น 3 แหล่งคือ ในน้ำซึมใต้ดิน สะสมในดิน และสะสมในพืช จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การนำน้ำขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช ดังนั้นการสะสมของไนโตรเจนในพืชจึงเป็นแหล่งที่สำคัญที่สุด จากผลการทดลอง (ภาพที่ 15) พบว่า เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 25 ไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในสปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนีสีม่วงคิดเป็นร้อยละ 17, 33 และ 31 ตามลำดับ เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50 ไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในสปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนีสีม่วงคิดเป็นร้อยละ 18, 37 และ 33 ตามลำดับ และเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 100 ไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในสปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนีสีม่วงคิดเป็นร้อยละ 12, 23 และ 28 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่า เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50 ไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในพืชทั้งสามชนิดเมื่อคิดเป็นร้อยละมากที่สุด จึงสรุปได้ว่า น้ำขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 50 มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้รดต้นพืชเนื่องจากพืชสามารถดึงธาตุไนโตรเจนไปใช้ในร้อยละที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการซึมลงใต้ดินและสะสมอยู่ในดินของธาตุไนโตรเจน



ภาพที่ 15 แหล่งการสะสมของไนโตรเจนเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 25%, b) 50% และ c) 100% ในแปลงทดลองที่ปลูกด้วย สปูดำ หญ้าสตาร์ และหญ้างินนีสีม่วง



ภาพที่ 15 (ต่อ)

7. อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทน

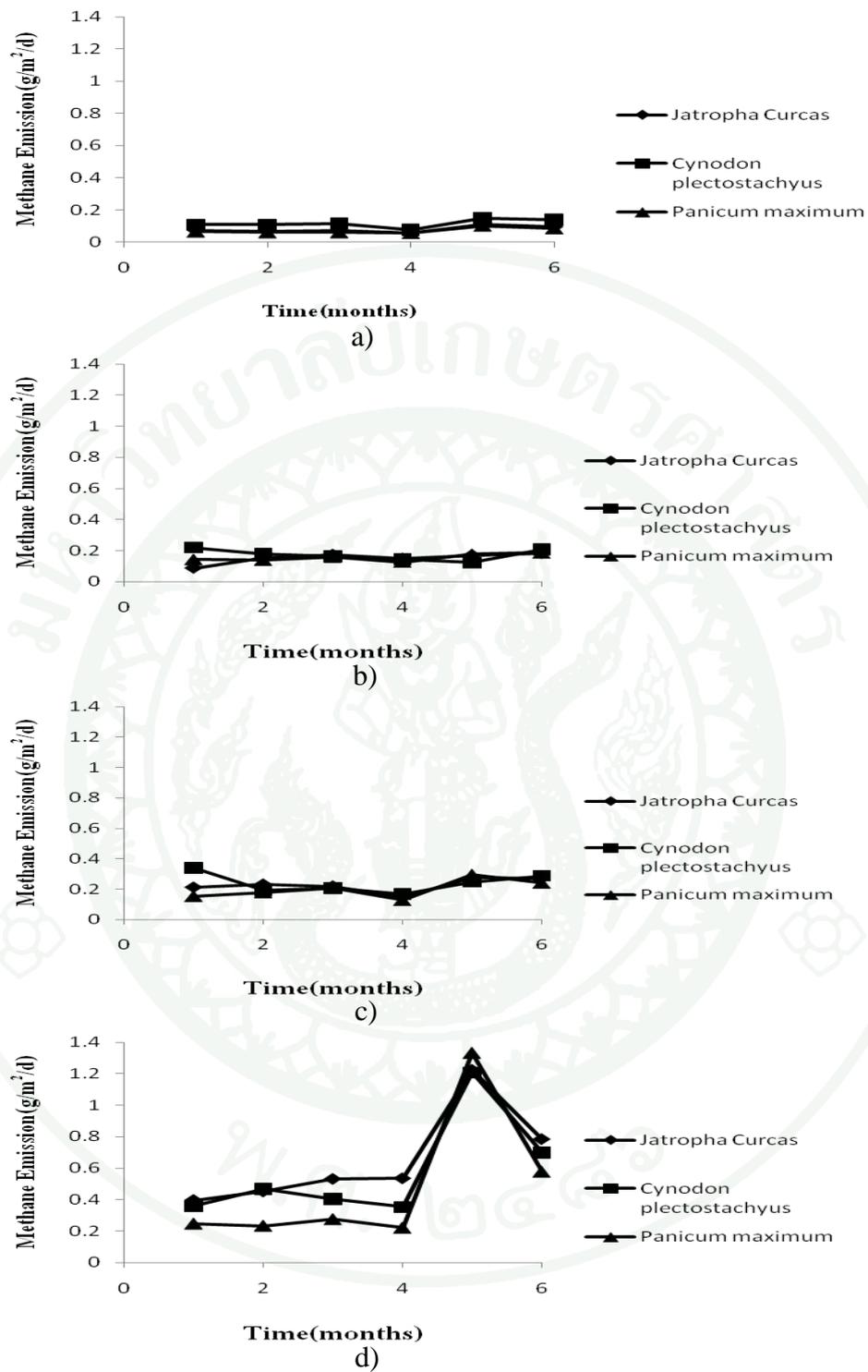
จากผลการศึกษาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนผ่านหน้าดินที่ปลูกพืช 3 ชนิด เมื่อรดด้วยน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออกซิโมซิสผันกลับโดยวิธี Close Flux Chamber (ตารางที่ 23) ระหว่างเดือนเมษายน 2554 ถึงเดือนกันยายน 2554 (6 เดือน) พบว่าก๊าซมีเทนมีอัตราการแพร่กระจายอยู่ในช่วง 0.056- 1.333 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่รดเพิ่มขึ้นในทุกชนิดพืช เมื่อพิจารณาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนตามความเข้มข้นของ

น้ำขุ่นที่รด ในความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่ร้อยละ 0 พบว่าบนหน้าดินที่มีการปลูกหญ้าสตาร์ จะมีอัตราการแพร่ระบายสูงสุด รองลงมาได้แก่ หน้าดินที่มีการปลูกสบู่ดำ และหน้าดินที่มีการปลูกหญ้ากีนีสีม่วง ซึ่งมีอัตราการระบายเฉลี่ยเท่ากับ 0.117, 0.080 และ 0.072 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่ร้อยละ 25 พบว่าบนหน้าดินที่มีการปลูกหญ้าสตาร์ จะมีอัตราการแพร่ระบายสูงสุด รองลงมาได้แก่ หน้าดินที่มีการปลูกหญ้ากีนีสีม่วง และหน้าดินที่มีการปลูกสบู่ดำซึ่งมีอัตราการระบายเฉลี่ยเท่ากับ 0.172, 0.154 และ 0.151 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่ร้อยละ 50 พบว่าบนหน้าดินที่มีการปลูกหญ้าสตาร์ จะมีอัตราการแพร่ระบายสูงสุด รองลงมาได้แก่ หน้าดินที่มีการปลูกสบู่ดำ และหน้าดินที่มีการปลูกหญ้ากีนีสีม่วงซึ่งมีอัตราการระบายเฉลี่ยเท่ากับ 0.240, 0.226 และ 0.202 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในความเข้มข้นของน้ำขุ่นที่ร้อยละ 100 พบว่าบนหน้าดินที่มีการปลูกสบู่ดำ จะมีอัตราการแพร่ระบายสูงสุด รองลงมาได้แก่ หน้าดินที่มีการปลูกหญ้าสตาร์ และหน้าดินที่มีการปลูกหญ้ากีนีสีม่วงซึ่งมีอัตราการระบายเฉลี่ยเท่ากับ 0.653, 0.581 และ 0.481 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ

ตารางที่ 23 อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่ปลูกด้วย สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้ากีนีสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำขุ่นความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100

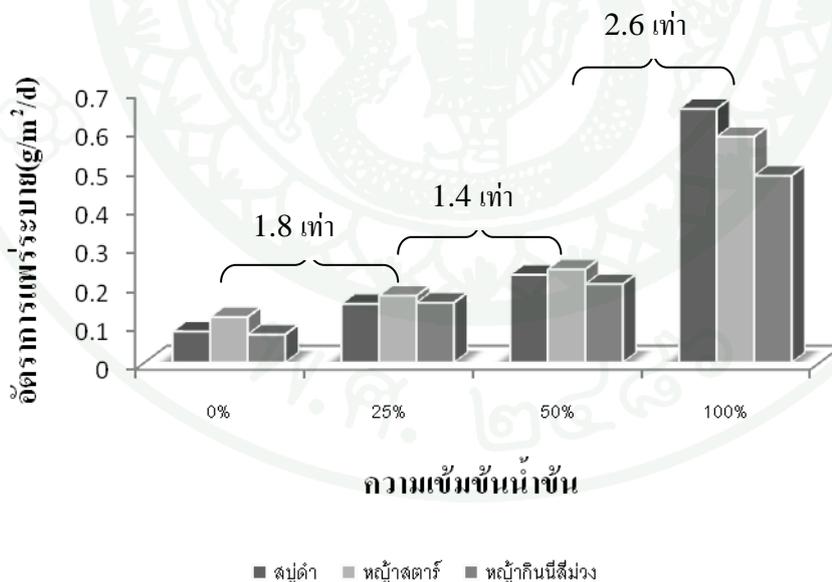
Sample	Methane emission rate (g m ⁻² day ⁻¹)							
	RO concentrate		RO concentrate		RO concentrate		RO concentrate	
	0%		25%		50%		100%	
	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.	Range	Avg.
<i>Jatropha</i>	0.056-	0.080	0.086-	0.151	0.146-	0.226	0.396-	0.653
<i>curcas</i>	0.112		0.182		0.275		1.226	
<i>Cynodon</i>	0.077-	0.117	0.121-	0.172	0.167-	0.240	0.358-	0.581
<i>plectostachyus</i>	0.149		0.219		0.340		1.207	
<i>Panicum</i>	0.056-	0.072	0.126-	0.154	0.129-	0.202	0.220-	0.481
<i>maximum</i>	0.103		0.185		0.297		1.333	



ภาพที่ 16 อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่มีการปลูกด้วย สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และ หญ้ากินนีสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำขุ่นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่มีการปลูกพืชเมื่อรดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับดังแสดงในภาพที่ 17 พบว่า อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่มีการปลูกหญ้ากินนีสีม่วงมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นในความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ร้อยละ 0, 50 และ 100 (0.072, 0.202 และ 0.481 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันตามลำดับ) ดังนั้นหญ้ากินนีสีม่วงจึงเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกและรดด้วยน้ำขึ้น เมื่อพิจารณาจากอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทน

เมื่อพิจารณาจากอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำขึ้นที่ใช้รดดังภาพที่ 17 พบว่า อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 1.8 เท่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำขึ้นที่ใช้รดจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 25 หากเพิ่มความเข้มข้นน้ำขึ้นที่ใช้รดจากร้อยละ 25 เป็นร้อยละ 50 อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้น 1.4 เท่า และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำขึ้นที่ใช้รดจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 100 อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้น 2.6 เท่า จากผลการทดลองสรุปได้ว่า น้ำขึ้นที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้รดต้นพืชเมื่อใช้อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนเป็นดัชนีชี้วัดเนื่องจากมีอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำขึ้นที่ใช้รด



ภาพที่ 17 ค่าเฉลี่ยของอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่มีการปลูกด้วย สบู่ดำ หญ้าสตาตาร์ และหญ้างินนีสีม่วง เมื่อรดด้วยน้ำขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับในความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100

8. การสะสมของโลหะหนักในพืช

ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในพืชแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้นร้อยละ 100 (ตารางที่ 24) พบว่า สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้านิสีม่วงมีการสะสมของ แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ด้านประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของพืชนั้นพบว่า หญ้านิสีม่วงมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักดีที่สุดโดยมีปริมาณแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล เท่ากับ 0.041, 31.760, 8.669, 4.813 และ 16.283 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 24 ปริมาณโลหะหนักในสบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้านิสีม่วง ในแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้นร้อยละ 100

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)				
	สบู่ดำ	หญ้าสตาร์	หญ้านิสีม่วง	ระดับปกติ*	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช*
แคดเมียม	Not Detected	0.028	0.041	0.1-1	5-700
โครเมียม	8.109	8.616	31.760	-	-
ทองแดง	3.476	5.461	8.669	3-20	25-40
ตะกั่ว	0.462	0.394	4.813	2-5	-
นิกเกิล	5.708	4.149	16.283	0.1-5	50-100

ที่มา: *ดัดแปลงจาก Alloway (1990)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบ ออสโมซิสผันกลับโดยนำมาใช้ในการปลูกพืชบนพื้นที่ฝั่งกลบ โดยศึกษาผลกระทบต่อการ เจริญเติบโตของพืชสามชนิดได้แก่ สบู่ดำ หญ้าสตาร์ และหญ้านิสี่ม่วง เมื่อรดด้วยน้ำขุ่น และ ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แก่ ลักษณะน้ำซึมใต้ดิน การสะสมในดิน และอัตราการแพร่ ระบายก๊าซมีเทน เมื่อใช้น้ำขุ่นรดต้นพืช ซึ่งจากการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. หญ้านิสี่ม่วงเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในการรดด้วยน้ำขุ่นจากกระบวนการบำบัดน้ำ ชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับบนพื้นที่ฝั่งกลบขยะมูลฝอยด้วยเหตุผลหลายประการคือ

1.1 สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นในทุกความเข้มข้น ของน้ำขุ่นที่รดทั้งความสูงที่เพิ่มขึ้น (0.72, 0.82, 0.89 และ 1.24 เซนติเมตรต่อวัน เมื่อรดด้วยน้ำขุ่น ความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 ตามลำดับ) และน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (1949.69, 2126.05, 3994.32 และ 5173.14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรดด้วยน้ำขุ่นความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 ตามลำดับ)

1.2 มีค่า EC และ NaCl สะสมในดินน้อยที่สุดเท่ากับ 1.96, 2.34, 3.01 และ 3.54 dS/m ใน EC และ 4.1, 4.1, 6.0 และ 6.5 เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ ในน้ำขุ่นความเข้มข้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 ตามลำดับ กล่าวคือหญ้านิสี่ม่วงสามารถป้องกันปัญหาดินเค็มจากน้ำขุ่นได้ดีที่สุด จากกระบวนการการดูดเกลือเข้าไปสะสมหรือคายออก (salt absorption: accumulation, excretion)

1.3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำซึมใต้ดินดีที่สุดในทุกค่าพารามิเตอร์ (59.65, 93.46, 85.74, 53.71, 56.11, 81.42 และ 46.85 เปอร์เซ็นต์การบำบัดของ EC, COD, TKN, NO_3^- -N, NaCl, TP และ TOC ตามลำดับ)

1.4 อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศบริเวณหน้าดินที่ปลูกด้วยหญ้ากินนีสีม่วงมีค่าต่ำกว่าพืชชนิดอื่น (0.072, 0.202 และ 0.481 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อรดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้นร้อยละ 0, 50 และ 100 ตามลำดับ)

2. น้ำชั้นจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบออสโมซิสผันกลับความเข้มข้นร้อยละ 50 เหมาะสมกับการนำมารดต้นพืชบนหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยมากที่สุดเนื่องจาก

2.1 พืชทั้งสามชนิดสามารถดึงธาตุไนโตรเจนอันเป็นธาตุอาหารหลักของพืชไปสะสมในร้อยละที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การซึมลงใต้ดินและสะสมอยู่ในดิน โดยไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในสบู่อ่า หญ้าสตาร์ และหญ้ากินนีสีม่วงคิดเป็นร้อยละ 18, 37 และ 33 ตามลำดับ

2.2 มีค่าเฉลี่ยของอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนบนหน้าดินที่ปลูกพืชทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (เพิ่มขึ้น 1.4 เท่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำชั้นที่ใช้รดจากร้อยละ 25 เป็นร้อยละ 50)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรติดตามศึกษางานวิจัยในระยะยาว เพื่อดูการสะสมของมวลสารในดินและผลกระทบต่อพืชในอนาคต

2. ในงานศึกษาใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำชั้นร้อยละ 0, 25, 50 และ 100 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในระดับความเข้มข้นที่ละเอียดขึ้นเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2542. **เกณฑ์มาตรฐานและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน**. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. **การกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนอย่างครบวงจร**. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2551. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2550**. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์**. วิกิปรินท์ ออฟเซ็ท, กรุงเทพฯ.

ชั้นทอง สุนทรภา. 2547. **เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เจริญ เจริญจำรัสชีพ, กำชัย กาญจนชนเศรษฐ และ เมธิน ศิริวงศ์. 2540. **การจัดการดินกรดในประเทศไทย**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

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

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีรกานต์ พันธุ์สุข. 2550. **ผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโต ออสโมแลลลิตี และปริมาณไอออนในต้นกล้าสบู่ดำ**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ประภาภรณ์ เคารพ. 2543. การศึกษารูปของแอมโมเนียมในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีพืชกรองน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรัตน์ โกวานิชย์. 2546. การศึกษาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากชั้นดินกลบทับมูลฝอยชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อิสวัต แสงมณี. 2549. หลุมฝังกลบขยะแบบถังปฏิริยาชีวภาพ (Bioreactor landfill). วารสารสิ่งแวดล้อม. 10: 52-58.
- อุบลวรรณ ยอดแสง. 2546. อิทธิพลของพืชและการรดน้ำชะมูลฝอยต่อปฏิริยาออกซิเดชันของก๊าซมีเทนในหน้าดินกลบทับมูลฝอยชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Ahn, W.Y., M.S. Kang, S.K. Yim and K.H. Choi. 2002. Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process. **Desalination**. 149: 109-114.
- Ahmed, M., A. Arakel., D. Hoey., M.R. Thumarukudy., M.F.A. Goosen., M. Al-Haddabi and A. Al-Belushi. 2003. Feasibility of salt production Corn inland RO desalination plant reject brine: a case study. **Desalination**. 158: 109-117.
- Ahmed, M., W.H. Shayya., D. Hoey., A. Mahendran., R. Moris and J. Al-Handaly. 2000. Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants. **Desalination**. 130: 155-168.
- Ahmed, M., W.H. Shayya., D. Hoey and J. Al-Handaly. 2001. Brine disposal from reverse osmosis desalination plants in Oman and the United Arab Emirates. **Desalination**. 133: 135-147.
- Alloway, B.J. 1990. **Heavy Metals in Soils**. John Wiley & Sons. Inc., New York.

- Aronsson, P., T. Dahlin and I. Dimitriou. 2009. Treatment of landfill leachate by irrigation of willow coppice-Plant response and treatment efficiency. **Environmental Pollution**. 73: 1-10.
- Bialowiec, A. and M. Agospowicz. 2007. Using phytotoxicological test for landfill leachate dose selection in willow short rotation plantation. **Environmental Pollution**. 64: 25-33.
- Bialowiec, A. and P.F. Randerson. 2010. Phytotoxicity of landfill leachate on willow – *Salix amygdalina* L. **Waste Management**. 30: 1587-1593.
- Bialowiec, A., I. Wojnowska-Baryla and M. Agopsowicz. 2003. Effectiveness of leachate disposal by the young willow sprouts *Salix amygdalina*. **Waste Management**. 9: 21–26.
- Bialowiec, A., I. Wojnowska-Baryla and M. Agopsowicz. 2007. The efficiency of evapotranspiration of landfill leachate in the soil-plant system with willow *Salix amygdalina* L. **Ecological Engineering**. 30: 356-361.
- Brierley, E.D.R., J.E. McDevitt., P. Thorn., S.F. Tyrrel and W. Stephens. 2001. Application of landfill leachate to willow short rotation coppice. **Biomass and Energy Crops II**. 65: 321-328.
- Boeckx, P. and O.V. Cleemput. 1996. Methane oxidation in a neutral landfill cover soil: Influence of moisture content, temperature, and nitrogen turnover. **Journal of Environmental Quality**. 25: 178-183.
- Bohdziewicz, J., M. Bodzek and J. Górka. 2001. Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate. **Process Biochem**. 36: 641-646.

- Christensen, T.H., R. Cossue and R. Stegmann. 1996. **Landfill of Waste: Biogas**. E & FN Spon, London.
- Cortez, S., P. Teixeira., R. Oliveira and M. Mota. 2010. Ozonation as polishing treatment of mature landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**. 182: 730-734.
- Cureton, P.M., P.H. Groenevelt and R.A. McBride. 1991. Landfill leachate recirculation: effects on vegetation vigor and clay surface cover infiltration. **Journal of Environmental Quality**. 20: 17-24.
- Dass, P., G.R. Tamke and C.M. Stoffel. 1977. Leachate product at sanitary landfill sites. **Journal of Environmental Quality**. 10: 11-19.
- Fraser, L.H., S.M. Carty and D. Steer. 2004. A test of four plant species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms. **Bioresource Technology**. 94: 185-192.
- Glen, E.P. 1987. Relationship between cation accumulation and water content of salt-tolerant grasses and sedge. **Plant, Cell and Environment**. 10: 205-212.
- Gordon, A.M., R.A. McBride and A.J. Fiskens. 1989. Effect of Landfill Leachate Irrigation on Red Maple (*Acer rubrum* L.) and Sugar Maple (*Acer saccharum* Marsh.) Seedling Growth and on Foliar Nutrient Concentrations. **Environmental Pollution**. 56: 327-336.
- Guidi, W., E. Piccioni and E. Bonari. 2008. Evapotranspiration and crop coefficient of poplar and willow short-rotation coppice used as vegetation filter. **Bioresource Technology**. 99: 4832-4840.
- Hammond, B. and R.R. Beliles. 1980. **Metals in Casarett and Doll's Toxicology : The Basic Science of Poisons**. McMillan Publishing Co, Inc., New York.

- Hasar, H., S.A. Unsal, U. Ipek, S. Karatas, O. Cinar, C. Yaman and C. Kinaci. 2009. Stripping/flocculation/membrane bioreactor/reverse osmosis treatment of municipal landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**. 171: 309-317.
- Hernandez, A.J., M.J. Adrave., A. Gil and J. Pastor. 1999. Soil salination from landfill leachates: effects on the macronutrient content and plant growth of four grassland species. **Chemosphere**. 38: 1693-1711.
- Jarboui, R., F. Sellami., C. Azri., N.G. Sallah and E. Ammor. 2010. Olive mill wastewater evaporation management using PCA method: Case study of nature degradation in stabilization ponds (Sfax, Tunisia). **Journal of Hazardous Materials**. 176: 992-1005.
- Jones, Jr., J.B., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. **Plant Analysis Handbook**. Micro Macro Publishing, Inc., Geogria.
- Jorge Jaramillo. 1993. **Guidelines for the design, construction, and operation of manual sanitary landfills**. Washington, D.C.
- Korngold, E., L. Aronov and N. Daltrophe. 2009. Electrodialysis of brine solutions discharged from an RO Plant. **Desalination**. 242: 215-227.
- Kostopoulou, P., A. Karagiannidis, P. Rakimbei and K. Tsiouvaras. 2010. Simulating the water balance in an old non-engineered landfill for optimizing plant cover establishment in an arid environment. **Desalination**. 250: 373-377.
- Lema, J.M., R. Mendez and R. Blazquez. 1988. Characteristics of land-fill leachates and alternatives for their treatment: a review. **Water, Air and Soil Pollution**. 40: 223-250.

- Liang, J., J. Zhang and M.H. Wong. 1999. Landfill leachate used as irrigation water on landfill sites during dry seasons, pp. 305-317. *In* Wong, M.H., Wong, J.W.C., Baker and A.J.Michale, eds. **Remediation and Management of Degraded Lands**. Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
- Linde, K., A. Jönsson and R. Wimmerstedt. 1995. Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis. **Desalination**. 101: 21-30.
- Maurice, C. and A. Lagerkvist. 1998. Landfill gas properties and effects on green plants. **Water, Air and Soil Pollution**. 62: 143-152.
- Millar, R.H. 1974. Factor affecting the decomposition of an anaerobically digested sewage sludge in soil. **Journal of Environmental Quality**. 12: 153-156.
- Palma, L.D., P. Ferrantelli, C. Merli and E. Petrucci. 2002. Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis. **Waste management**. 22: 951-955.
- Peters, T.A. 1998. Purification of landfill leachate with reverse osmosis and nanofiltration. **Desalination**. 119: 289-293.
- Randall, D.G., J. Nathoo and A.E. Lewis. 2010. A case study for treating a reuse osmosis brine using Eutectic Freeze Crystallization – Approaching a zero waste process. **Desalination**. 266: 256-262
- Soil and Plant Analysis Council Inc. 1999. **Soil Analysis Handbook of Reference Method**. CRC Press, Washington, D.C.
- Stegmann, R. 1983. Landfill water balance, pp. 171-183. *In* Proc. **3th International Symposium on Anareobic Digestion**. Boston, Dynatech, Cambridge.

Storey, R. and R.G.W. Jones. 1979. Responses of *Atriplex spongiosa* and *Suaeda monoica* to salinity. **Plant Physiology**. 63: 156-162.

Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. **Integrated Solid Waste Management**. International ed., McGraw-Hill Book Co., Singapore.

Tzanakakis, V.A., N.V. Paranychianakis and A.N. Angelakis. 2009. Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent. **Ecological Engineering**. 35: 1485-1492.

U.S. Environmental Protection Agency. 1991. **Environmental Legislation**. Longman, London.

Zalesny Jr., R.S., A.H. Wiese., E.O. Bauer and D.E. Riemenschneider. 2009. Ex situ growth and biomass of *Populus* bioenergy crops irrigated and fertilized with landfill leachate. **Biomass and Bioenergy**. 33: 62-69.





ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการวิเคราะห์ pH ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	5.7	5.5	6.1	6.9	5.6	6.3	6.9	6.9	5.8	6.5	6.4	6.5
2	6.2	6.6	7.1	7.3	6.0	6.9	7.3	8.1	5.9	7.2	6.9	7.2
3	7.1	7.7	8.0	8.2	6.5	8.0	8.6	8.6	6.0	7.8	7.2	7.7
4	4.7	4.9	5.3	6.2	5.4	5.8	6.4	6.9	5.7	5.4	5.8	6.0
5	4.5	4.1	4.2	5.2	5.1	4.8	5.2	5.9	5.6	4.8	5.6	5.5
6	5.8	5.9	5.9	6.5	5.8	6.6	7.1	7.2	5.8	6.3	6.3	6.7

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการวิเคราะห์ EC (dS/m) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	2.24	2.41	3.28	4.01	2.00	2.81	3.52	4.28	1.95	2.40	3.02	3.51
2	2.36	2.66	3.50	4.14	2.28	3.20	3.89	4.74	2.01	2.45	3.13	3.82
3	2.41	2.70	3.62	4.35	2.40	3.37	4.08	5.14	2.06	2.55	3.26	3.94
4	2.15	2.30	2.97	3.54	1.94	2.53	3.28	3.95	1.88	2.19	2.85	3.37
5	2.08	2.19	2.83	3.25	1.86	2.33	3.10	3.63	1.86	2.14	2.76	3.13
6	2.28	2.46	3.22	3.79	2.13	2.88	3.77	4.42	1.96	2.31	2.98	3.60

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการวิเคราะห์ TKN ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%
1	462	471	486	505	469	475	471	507	488	501	505	507
2	466	491	493	514	488	509	514	535	502	522	524	532
3	487	505	508	525	504	524	529	563	516	540	566	549
4	454	463	461	470	457	452	462	480	470	467	468	482
5	441	437	450	461	450	434	431	457	464	446	442	461
6	470	473	473	489	479	483	486	516	491	493	499	511

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการวิเคราะห์ $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%
1	18.1	21.8	27.5	35.2	25.4	27.0	29.4	46.7	32.5	34.3	41.1	43.2
2	21.9	24.7	28.8	37.1	28.0	30.6	32.2	51.9	37.3	38.4	43.7	48.5
3	24.2	26.9	30.6	38.9	29.7	33.7	35.7	55.0	40.2	42.6	47.1	50.2
4	15.6	19.2	25.9	33.1	23.3	24.6	27.0	43.2	28.7	30.5	37.0	41.6
5	12.8	17.3	23.4	30.3	21.5	21.3	24.7	39.0	24.8	25.6	34.9	37.2
6	18.7	22.5	26.7	34.7	26.1	27.9	30.5	48.1	32.7	33.6	40.4	44.4

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการวิเคราะห์ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	39.2	51.0	83.3	125.2	41.7	63.7	89.3	185.3	43.8	56.8	104.3	167.4
2	40.6	51.0	82.4	126.1	43.0	65.1	89.5	189.7	44.1	57.1	108.4	167.4
3	41.5	55.4	85.9	129.6	43.5	71.9	92.4	200.2	46.3	60.3	115.5	175.1
4	38.8	48.4	81.5	120.8	39.9	60.7	85.0	183.4	42.0	53.6	101.9	162.0
5	38.4	47.7	78.4	117.3	39.2	59.0	85.0	180.6	41.1	53.2	98.6	160.4
6	39.0	52.8	81.5	123.0	41.7	61.7	88.6	184.5	43.4	54.9	102.8	163.5

ตารางผนวกที่ ก6 ผลการวิเคราะห์ TP ($\mu\text{g/g.soil}$) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	84	87	90	94	88	91	95	98	89	90	94	97
2	91	95	98	104	95	100	107	110	92	98	105	107
3	97	99	110	110	106	110	114	124	100	107	115	110
4	77	81	82	86	77	85	85	91	83	86	90	90
5	71	75	70	78	71	73	78	79	78	75	73	84
6	84	88	89	94	89	92	96	101	89	92	94	97

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการวิเคราะห์ TOC (g/kg.soil) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	12.9	13.5	15.0	17.4	13.3	15.4	15.6	16.3	13.0	14.1	15.4	16.0
2	13.1	13.5	15.8	17.6	13.7	17.6	18.3	20.2	12.6	14.9	16.8	17.7
3	13.4	16.2	17.7	20.2	14.4	19.7	19.5	21.4	13.5	17.0	17.7	18.5
4	10.2	14.0	12.4	14.6	12.0	13.3	14.6	15.0	11.7	13.1	13.6	14.1
5	7.0	8.9	11.6	13.2	11.6	11.8	12.9	13.2	9.3	11.8	13.0	13.2
6	12.9	13.1	14.9	16.6	13.2	14.5	15.9	16.7	10.4	14.9	15.1	15.8

ตารางผนวกที่ ก8 ผลการวิเคราะห์ Organic matter (g/kg.soil) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	15.0	14.9	16.7	17.5	15.6	16.3	16.8	17.1	14.6	15.3	16.1	16.6
2	17.6	17.8	18.5	19.9	17.0	19.1	19.4	20.8	17.2	17.3	17.7	18.4
3	21.5	19.1	19.4	21.1	18.4	21.0	20.2	22.3	18.5	18.7	18.7	19.4
4	11.8	13.3	14.8	15.8	14.5	14.9	15.5	15.9	12.5	13.9	14.4	15.0
5	7.5	10.7	12.7	14.0	13.4	12.2	13.8	13.9	10.2	12.7	13.7	13.9
6	14.2	15.5	16.3	17.2	16.1	16.7	17.2	17.4	14.0	15.8	15.9	16.5

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการวิเคราะห์ NaCl (%) ในดิน

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.43	0.44	0.62	0.69	0.40	0.52	0.63	0.70	0.41	0.42	0.62	0.66
2	0.47	0.49	0.70	0.81	0.44	0.61	0.74	0.87	0.42	0.46	0.67	0.74
3	0.50	0.54	0.80	0.90	0.47	0.66	0.85	0.96	0.45	0.48	0.74	0.84
4	0.37	0.39	0.52	0.57	0.39	0.47	0.54	0.62	0.39	0.39	0.51	0.57
5	0.34	0.34	0.44	0.46	0.37	0.44	0.45	0.50	0.37	0.34	0.46	0.48
6	0.41	0.43	0.59	0.66	0.42	0.54	0.66	0.74	0.40	0.43	0.58	0.65

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการวิเคราะห์การปลดปล่อย CH₄ (g(10⁻²)/m²/day)

Month	<i>J. curcas</i> L.				<i>C. plectostachyus</i>				<i>P. maximum</i> TD 58			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	7.4	8.6	21.2	39.6	10.8	21.9	34.0	35.8	6.5	14.2	15.5	24.6
2	6.9	15.1	23.2	45.0	10.8	17.7	19.0	46.9	6.1	13.8	18.0	23.3
3	7.4	17.2	21.9	53.0	11.6	16.3	20.6	40.3	6.0	15.9	20.6	27.5
4	5.6	14.7	14.6	53.4	7.7	14.3	16.7	35.2	5.6	12.6	12.9	22.0
5	11.2	16.9	27.5	122.6	14.9	12.1	24.8	120.7	10.3	17.6	29.7	133.3
6	9.6	18.2	27.1	78.4	14.0	20.6	28.8	69.7	8.6	18.5	24.2	57.7

ตารางผนวกที่ ก11 ผลการวิเคราะห์ EC (dS/m) ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้น
น้ำชั้นร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	15.53	15.94	17.01	14.77	14.13	15.59
	2	15.37	15.88	16.85	15.00	14.11	15.47
	3	15.42	16.42	16.90	14.93	14.24	15.47
	เฉลี่ย	15.44	16.08	16.92	14.90	14.16	15.51
<i>C. plectostachyus</i>	1	11.29	12.55	13.36	11.00	9.50	11.39
	2	11.51	12.42	13.34	10.89	9.48	11.21
	3	11.49	12.59	13.23	10.75	9.67	11.18
	เฉลี่ย	11.43	12.52	13.31	10.88	9.55	11.26
<i>P. maximum</i> TD 58	1	9.07	10.49	11.06	8.62	7.42	9.25
	2	9.11	10.45	10.98	8.70	7.48	9.22
	3	9.21	10.44	10.99	8.48	7.51	9.34
	เฉลี่ย	9.13	10.46	11.01	8.60	7.47	9.27

ตารางผนวกที่ ก12 ผลการวิเคราะห์ BOD ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำชั้น
ร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	235.02	234.11	247.94	208.72	206.27	229.83
	2	220.47	230.54	247.30	211.44	212.50	235.47
	3	217.77	244.94	239.31	227.57	213.30	228.24
	เฉลี่ย	224.42	236.53	244.85	215.91	210.69	231.18
<i>C. plectostachyus</i>	1	140.22	152.37	156.93	139.77	141.98	143.13
	2	147.85	155.41	158.02	144.38	146.00	150.07
	3	158.63	148.34	148.34	152.71	148.01	148.13
	เฉลี่ย	148.90	152.04	154.43	145.62	145.33	147.11
<i>P. maximum</i> TD 58	1	136.55	143.71	144.23	143.48	138.12	139.33
	2	140.19	140.02	146.05	142.02	139.93	142.70
	3	148.36	145.39	140.07	137.14	143.63	144.00
	เฉลี่ย	141.70	143.04	143.45	140.88	140.56	142.01

ตารางผนวกที่ ก13 ผลการวิเคราะห์ CODในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำชั้น
ร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	537.48	574.34	595.52	502.93	488.60	541.17
	2	546.01	572.50	590.41	500.73	493.25	537.33
	3	543.35	593.43	595.26	508.82	493.94	523.56
	เฉลี่ย	542.28	580.09	593.73	504.16	491.93	534.02
<i>C. plectostachyus</i>	1	234.04	267.53	277.94	208.69	213.94	218.58
	2	230.76	255.30	279.25	214.70	213.52	223.09
	3	228.05	261.40	283.05	218.19	204.79	235.16
	เฉลี่ย	230.95	261.41	280.08	213.86	210.75	225.61
<i>P. maximum</i> TD 58	1	176.13	212.34	235.77	155.24	127.31	186.36
	2	180.02	208.92	240.26	157.39	122.68	186.14
	3	183.67	214.95	227.95	168.36	125.55	180.10
	เฉลี่ย	179.94	212.07	234.66	160.33	125.18	184.20

ตารางผนวกที่ ก14 ผลการวิเคราะห์ TKN ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขึ้น
ร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	23.12	23.90	25.87	22.61	20.94	23.72
	2	23.78	24.56	26.06	21.78	21.50	24.58
	3	23.51	24.71	23.67	22.36	23.11	23.73
	เฉลี่ย	23.47	24.39	25.20	22.25	21.85	24.01
<i>C. plectostachyus</i>	1	17.41	17.80	18.64	16.93	15.18	17.32
	2	17.10	17.34	19.00	16.01	15.85	17.05
	3	17.87	18.05	19.30	15.93	16.19	16.93
	เฉลี่ย	17.46	17.73	18.98	16.29	15.74	17.10
<i>P. maximum</i> TD 58	1	14.75	15.42	16.40	13.64	13.71	14.02
	2	14.81	15.21	16.17	13.95	13.05	14.66
	3	14.93	15.12	16.36	13.72	13.20	13.92
	เฉลี่ย	14.83	15.25	16.31	13.77	13.32	14.20

ตารางผนวกที่ ก15 ผลการวิเคราะห์ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำชั้น
ร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	0.96	1.21	1.25	0.96	0.83	1.08
	2	0.99	1.18	1.19	0.91	0.84	1.10
	3	1.08	1.12	1.25	0.95	0.91	1.00
	เฉลี่ย	1.01	1.17	1.23	0.94	0.86	1.06
<i>C. plectostachyus</i>	1	0.85	1.01	1.03	0.83	0.70	0.84
	2	0.88	0.97	1.10	0.84	0.73	0.92
	3	0.91	0.90	1.08	0.76	0.79	0.94
	เฉลี่ย	0.88	0.96	1.07	0.81	0.74	0.90
<i>P. maximum</i> TD 58	1	0.89	0.99	1.04	0.78	0.61	0.91
	2	0.83	0.99	1.11	0.79	0.64	0.88
	3	0.83	0.93	1.15	0.77	0.70	0.90
	เฉลี่ย	0.85	0.97	1.10	0.78	0.65	0.89

ตารางผนวกที่ ก16 ผลการวิเคราะห์ NaCl (%) ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำ
ชั้นร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	3.11	3.23	3.39	3.00	2.69	3.13
	2	2.99	3.29	3.47	2.88	2.76	3.09
	3	3.03	3.40	3.52	2.84	2.87	3.11
	เฉลี่ย	3.05	3.31	3.46	2.91	2.77	3.11
<i>C. plectostachyus</i>	1	2.51	2.89	3.05	2.04	2.01	2.47
	2	2.44	2.84	3.00	2.10	1.95	2.46
	3	2.47	2.92	2.98	2.11	1.85	2.48
	เฉลี่ย	2.48	2.88	3.01	2.08	1.94	2.47
<i>P. maximum</i> TD 58	1	1.97	2.20	2.48	1.68	1.47	1.96
	2	1.95	2.20	2.42	1.67	1.45	1.94
	3	1.91	2.23	2.41	1.67	1.47	1.96
	เฉลี่ย	1.94	2.21	2.44	1.67	1.46	1.96

ตารางผนวกที่ ก17 ผลการวิเคราะห์ TP ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำขึ้น
ร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	2.87	3.05	3.09	2.79	2.74	2.90
	2	2.91	2.96	3.14	2.81	2.70	2.97
	3	2.86	3.08	3.16	2.92	2.72	2.98
	เฉลี่ย	2.88	3.03	3.13	2.84	2.72	2.95
<i>C. plectostachyus</i>	1	2.28	2.42	2.50	2.11	2.17	2.29
	2	2.32	2.36	2.49	2.19	2.13	2.34
	3	2.33	2.42	2.45	2.30	2.15	2.24
	เฉลี่ย	2.31	2.40	2.48	2.20	2.15	2.29
<i>P. maximum</i> TD 58	1	0.94	1.00	1.12	0.75	0.61	0.80
	2	0.82	1.01	1.08	0.73	0.68	0.84
	3	0.91	1.11	1.10	0.77	0.69	0.85
	เฉลี่ย	0.89	1.04	1.10	0.75	0.66	0.83

ตารางผนวกที่ ก18 ผลการวิเคราะห์ TOC ในน้ำซึมใต้ดิน ชุดการทดลองความเข้มข้นน้ำจืด
ร้อยละ 100

ชนิดพืช	จำนวน ซ้ำ	เดือนการทดลองที่					
		1	2	3	4	5	6
<i>J. curcas</i> L.	1	753.20	815.94	860.02	699.67	674.15	783.06
	2	757.67	804.83	852.76	709.53	680.46	781.45
	3	769.46	819.79	836.26	714.65	693.31	757.73
	เฉลี่ย	760.11	813.52	849.68	707.95	682.64	774.08
<i>C. plectostachyus</i>	1	613.98	682.17	720.59	546.85	501.64	605.42
	2	609.33	675.84	719.60	539.05	500.72	612.77
	3	629.88	683.97	713.42	540.25	513.51	609.59
	เฉลี่ย	617.73	680.66	717.87	542.05	505.29	609.26
<i>P. maximum</i> TD 58	1	552.46	600.24	641.95	463.64	454.88	531.50
	2	545.31	603.91	634.27	461.86	449.27	536.04
	3	543.53	603.20	625.90	467.64	449.69	533.89
	เฉลี่ย	547.10	602.45	634.04	464.38	451.28	533.81

ตารางผนวกที่ ก19 ค่าเฉลี่ยความสูงของพืชในการทดลอง

Day	<i>J. curcas</i> (%)				<i>C. plectostachyus</i> (cm)				<i>P. maximum</i> (cm)			
	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	15.0	15.0	15.0	15.0
12	5.9	3.8	2.7	3.7	12.0	14.0	16.3	13.3	19.3	21.7	20.3	24.3
24	10.0	8.3	7.0	5.7	12.7	17.3	23.7	15.7	22.0	29.3	31.3	33.7
36	11.4	13.1	9.2	10.9	14.3	20.0	31.0	19.0	25.3	34.7	36.7	46.0
48	13.5	16.9	11.0	13.78	14.3	20.7	33.0	19.3	26.3	36.0	37.7	49.7
60	23.6	24.7	19.2	25.3	15.7	23.3	38.3	22.7	31.0	39.0	41.3	55.7
60	-	-	-	-	10.0	10.0	10.0	10.0	15.0	15.0	15.0	15.0
72	32.5	32.3	29.4	33.8	20.7	22.7	25.3	18.0	56.0	54.7	57.3	69.3
84	38.7	36.4	30.2	37.3	24.0	31.7	32.7	26.3	61.0	59.7	61.0	81.7
96	40.8	43.0	34.8	41.70	26.3	35.7	37.3	31.0	64.0	64.3	64.0	90.0
108	52.7	50.5	48.9	62.3	29.3	35.3	38.7	37.0	67.0	70.7	71.3	99.0
120	61.9	53.6	52.5	64.7	31.7	37.0	40.7	39.0	67.3	72.0	72.3	99.0
120	-	-	-	-	10.0	10.0	10.0	10.0	15.0	15.0	15.0	15.0
132	65.0	58.8	64.6	71.3	18.3	21.7	26.7	20.3	50.0	51.0	54.7	65.0
144	68.8	62.1	66.8	77.4	21.7	27.7	32.7	29.0	54.3	57.3	61.0	78.0
156	71.6	67.5	74.6	83.6	24.7	30.7	37.7	33.7	58.7	63.0	67.3	86.7
168	76.1	71.9	81.4	89.0	27.7	32.3	41.3	36.0	61.3	68.0	73.3	91.0
180	78.7	75.2	86.4	92.4	29.7	34.0	44.0	37.7	63.3	70.3	77.0	93.3
180	-	-	-	-	10.0	10.0	10.0	10.0	15.0	15.0	15.0	15.0
192	82.1	80.8	93.6	98.2	21.0	22.0	24.3	21.0	50.3	52.3	57.0	66.3
204	84.6	86.0	99.8	105.7	27.3	29.3	33.7	27.7	58.3	62.3	67.3	86.3
216	87.8	91.6	107.1	113.9	29.7	34.7	41.0	32.0	63.0	69.7	75.3	96.7
228	89.5	94.3	111.8	121.9	31.7	38.0	47.0	35.0	66.7	73.0	79.0	103.3
240	91.2	97.2	115.9	128.4	33.7	40.3	50.7	37.3	69.3	75.3	81.7	108.0

ตารางผนวกที่ ก20 อัตราการเจริญเติบโตของพืชในการทดลอง (cm/day)

Plant specie	RO concentrate			
	0%	25%	50%	100%
<i>J. curcas</i> L.	0.35	0.29	0.36	0.46
<i>C. plectostachyus</i>	0.30	0.39	0.56	0.40
<i>P. maximum</i> TD 58	0.72	0.82	0.89	1.24

ตารางผนวกที่ ก21 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ถึง เดือนตุลาคม 2554 อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

Date	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
1	0	0	0	0	T	24.7	7.1	6.5
2	0	0	0	0	0	0	0	T
3	0	0	0	0	T	0	0	45.2
4	0	0	0	T	T	0	0	8.9
5	0	0	T	0	0	0	0	4.2
6	0	0	0	0	0	0	0	5.3
7	0	0	0	0	0	0	0	3.7
8	0	0	0	0	0	0	0	15.2
9	0	26.7	47	T	0	0	12	6.9
10	0	0	0	0	0	0	0	7.1
11	0	0	0	0	0	0	0	12.8
12	0	0	0	27	0	0	0	1.3
13	0	0	0	T	0	T	0	21.5
14	0	0	0	16.6	0	0	0	T
15	0	1.8	0	0	T	0	5.5	2.3

ตารางผนวกที่ ก21 (ต่อ)

Date	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
16	0	T	0	0	0	0	T	0
17	0	T	0	0	0	0	12.2	0
18	0	0	0	0	0	0	T	0
19	0	0	28.8	28.7	0	T	13.6	2.1
20	0	T	0	T	0	0	0	0
21	0	0	0	T	0	0	0	T
22	T	35.5	0	0	0	0	0	16.6
23	0	0	46	0	0	0	0	6.3
24	0	0	0	T	0	0	0	0
25	0	0	12.8	T	0	0	37.5	0
26	T	0	0	3.1	8	0	18.7	2.1
27	0	0	0	0	0	0	7	T
28	0	T	0	0	0	0	1.7	0
29	-	0	0	0	18	0	T	0
30	-	0	3.7	0	18.5	7.2	T	0
31	-	0	-	0	-	9.2	T	-
TOTAL	0	64	138.3	75.5	44.5	41.1	115.4	168
R-DAY	0	2.1	4.61	2.4	1.5	1.3	3.7	5.6
MAX	-	64	47	28.7	18.5	24.7	37.5	45.2

หมายเหตุ " T " IS TRACE RAINFALL, RAINFALL AMOUNT LESS THAN 0.1 MM.

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2554)





ภาพผนวกที่ ข1 บ่อเก็บน้ำชะมูลฝอย ณ สถานกำจัดมูลฝอย อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี



ภาพผนวกที่ ข2 บั้มและท่อน้ำที่สูบน้ำขึ้นจากระบบบำบัดคออสโมซิสผ่นกลับไปยังบริเวณแปลงทดลอง



ภาพผนวกที่ ข3 พื้นที่แปลงทดลองก่อนทำการเตรียมพื้นที่ทดลอง



ภาพผนวกที่ ข4 พื้นที่แปลงทดลองหลังทำการเตรียมพื้นที่ทดลอง



ก)



ข)

ภาพผนวกที่ ข5 ก) ถังเก็บน้ำซึมใต้ดิน, ข) ส่วนเก็บน้ำบริเวณก้นถัง



ก)



ข)

ภาพผนวกที่ ข6 ก) ส่วนสายยางที่อยู่เหนือผิวดินของชุดอุปกรณ์เก็บน้ำซึมใต้ดิน, ข) ปุ่มแบบพกพาสำหรับสูบลูกตัวอย่างน้ำซึมใต้ดิน



ภาพผนวกที่ ข7 การครอบดักเก็บก๊าซโดยใช้ Close flux chamber



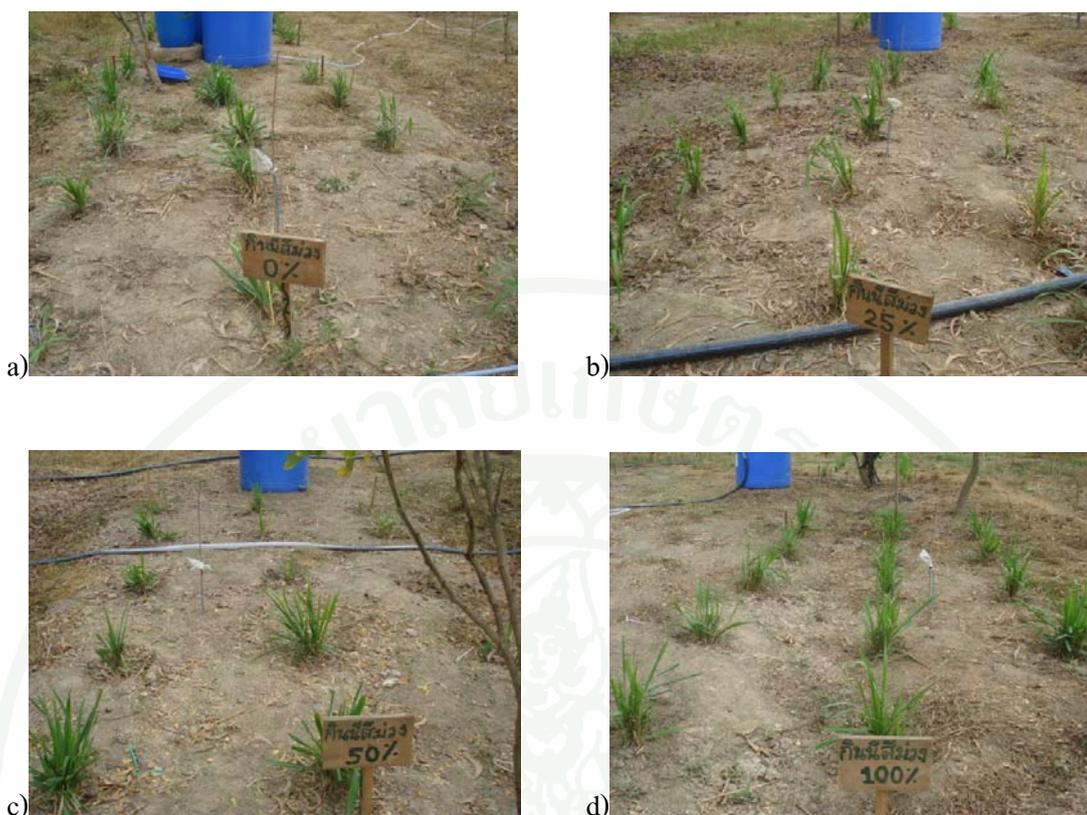
ภาคผนวก ค
ภาพพืชที่ใช้ในการทดลอง



ภาพผนวกที่ ๑1 สปูดาในแปลงทดลองเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค2 หญ้าสดารในแปลงทดลองเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



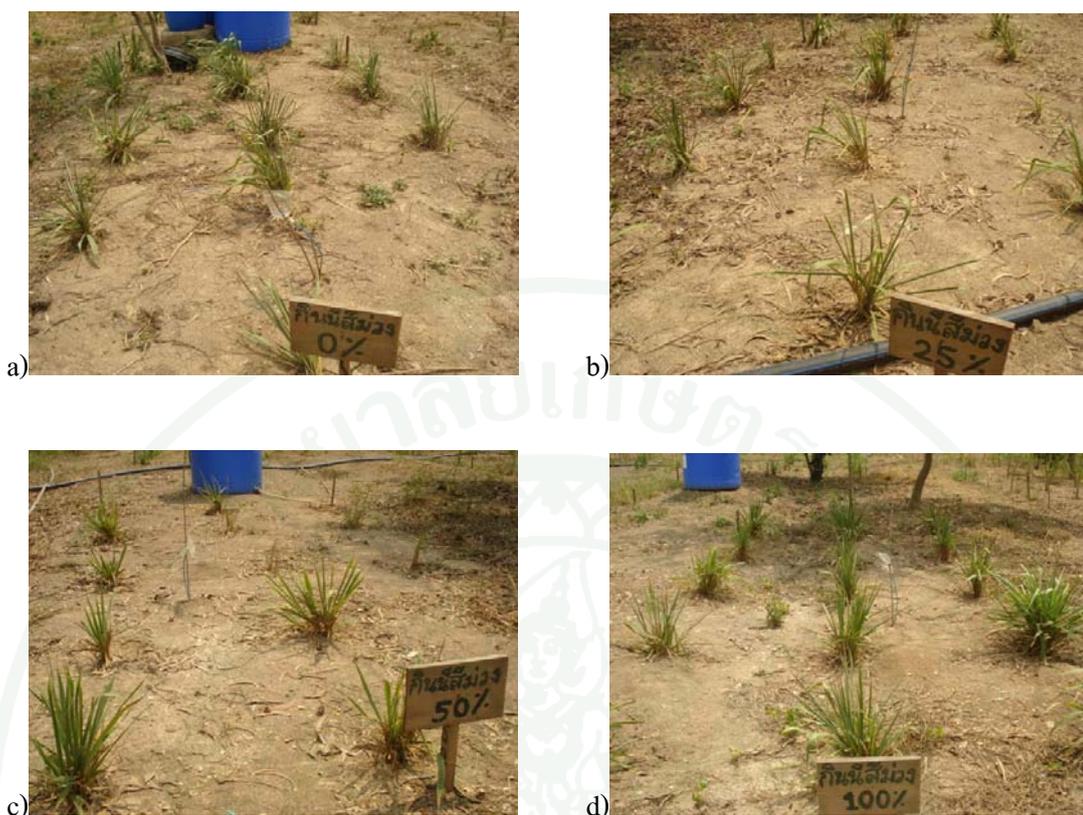
ภาพผนวกที่ ๓3 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ๓4 สปูดาในแปลงทดลองเดือนมีนาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค5 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนมีนาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ๓๖ หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนมีนาคมซึ่งรดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ๗ สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนเมษายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค8 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนเมษายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ๑9 หูก้านี่สีม่วงในแปลงทดลองเดือนเมษายนซึ่งรดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค10 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนพฤษภาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค11 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนพฤษภาคมซึ่งรดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค12 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนพฤษภาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค13 สปูดำในแปลงทดลองเดือนมิถุนายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค14 หญ้าสาบดำในแปลงทดลองเดือนมิถุนายนซึ่งรดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



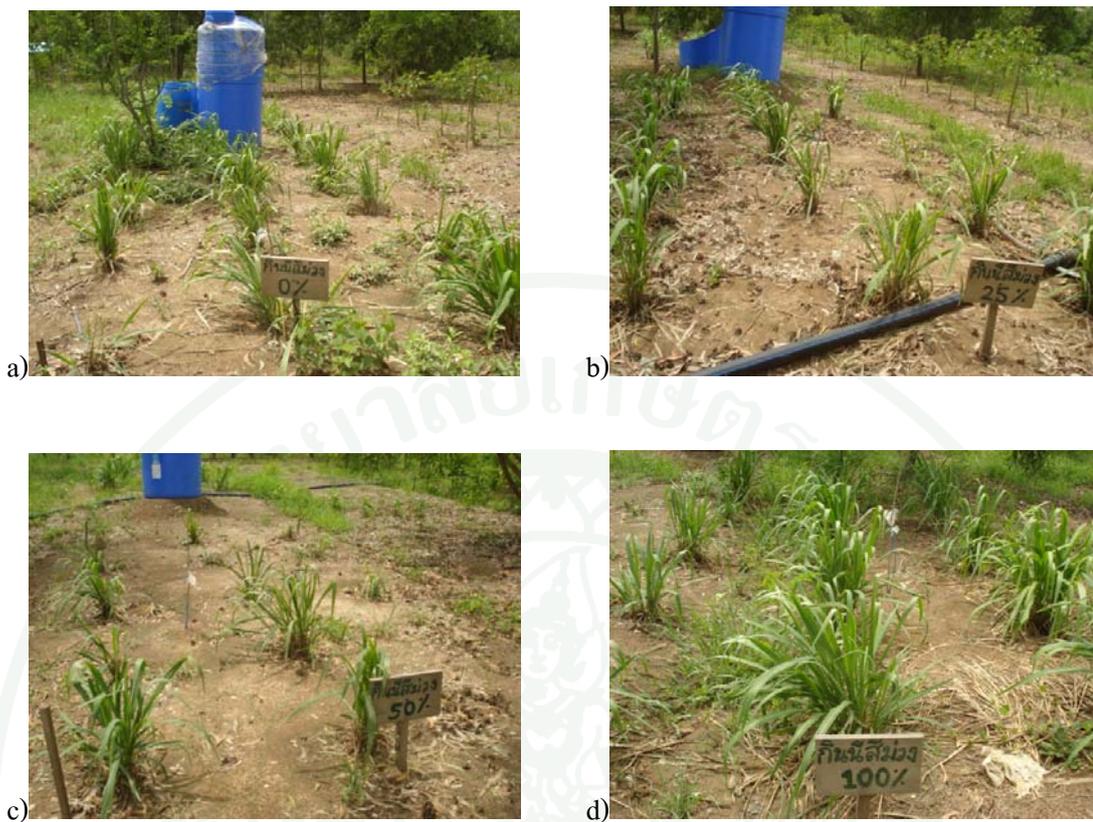
ภาพผนวกที่ ค15 หล้ากีนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนมิถุนายนซึ่งรดด้วยน้ำชั้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค16 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนกรกฎาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค17 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนกรกฎาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค18 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนกรกฎาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค19 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนสิงหาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค20 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนสิงหาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค21 หญ้ากินนีสีม่วงในแปลงทดลองเดือนสิงหาคมซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค22 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนกันยายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค23 หญ้าสตาร์ในแปลงทดลองเดือนกันยายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%



ภาพผนวกที่ ค24 สบู่ดำในแปลงทดลองเดือนกันยายนซึ่งรดด้วยน้ำขึ้นความเข้มข้น a) 0%, b) 25%, c) 50% และ d) 100%

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายชยวิทย์ สุวรรณภักดี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 พฤษภาคม พ.ศ. 2530
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 จบการศึกษา วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
นำเสนอผลงานที่	งาน The 4 th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment and Seminar of NRTC-JSPS Asian Core Program วันที่ 18-19 มกราคม พ.ศ. 2555