



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากเห็ดแครงที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจาก
ฟาร์มเลี้ยงสุกร

Soil Amendment Production by Azolla Using Anaerobic Digester of
Piggery Wastewater

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2558

จำนวน 114,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นางศิริภรณ์ ชื่นบาล

ผู้ร่วมโครงการ นาย รุปน ชื่นบาล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30/08/59

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รศ. ดร. ศุภธิดา อ่ำทอง อาจารย์ประจำคณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำวิจัย นายณัฐกิจ คำปา และนายวัฒนชัย สัปทน นักศึกษาปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีพวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมการเกษตร ที่สนับสนุนงบประมาณ ประจำปี 2558 สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

ศิริภรณ์ ชื่นบาล

สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๘
บทคัดย่อ	1
Abstract	3
บทนำ	4
วัตถุประสงค์การทดลอง	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
วิธีการดำเนินการวิจัย	22
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	26
สรุปผลการทดลอง	56
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	61

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 จังหวัดที่มีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรมากที่สุด 5 อันดับแรกปี พ.ศ. 2558	8
ตารางที่ 2.2 จังหวัดที่มีจำนวนสุกรมากที่สุด 5 อันดับแรกปี พ.ศ. 2558	8
ตารางที่ 2.3 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ต่างๆ ในแต่ละวัน	10
ตารางที่ 2.4 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	11
ตารางที่ 2.5 มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร	11
ตารางที่ 2.6 ผลการวิเคราะห์กากตะกอนแห้งและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	14
ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเหานแดง	18
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งของฟาร์มสุกรที่ใช้ในการศึกษา	27
ตารางที่ 4.2 ผลผลิตและการเจริญของเหานแดงในระดับในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	30
ตารางที่ 4.3 สมบัติของเหานแดงใช้ในการทดลอง	49
ตารางที่ 4.4 สมบัติของดินชุดต้นทราย (Sai) และวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลอง	49

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ปริมาณการส่งออกเนื้อสุกร ปี 2553-2558	9
รูปที่ 2.2 มูลค่าการส่งออกเนื้อสุกร ปี 2553-2558	9
รูปที่ 2.3 แหนแดง	15
รูปที่ 2.4 สาหร่ายแอนนาบีนาในโพรงใบของแหนแดง	16
รูปที่ 2.5 การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของแหนแดง	17
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทดลองวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	24
รูปที่ 4.1 การเจริญของแหนแดงแสดงด้วยน้ำหนักสด ในน้ำทิ้งจาก ฟาร์มสุกรระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	28
รูปที่ 4.2 การเจริญของแหนแดงแสดงด้วยน้ำหนักแห้ง ในน้ำทิ้งจาก ฟาร์มสุกรระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	29
รูปที่ 4.3 อัตราการเจริญจำเพาะของแหนแดง ในน้ำทิ้งจาก ฟาร์มสุกรระดับ ความเข้มข้นต่างๆ กัน	29
รูปที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	31
รูปที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงแหนแดง	32
รูปที่ 4.6 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	33
รูปที่ 4.7 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะ เลี้ยงแหนแดง	33
รูปที่ 4.8 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	35
รูปที่ 4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงแหนแดง	35
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	36
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลง pH น้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงแหนแดง	37
รูปที่ 4.12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	38
รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้ เพาะเลี้ยงแหนแดง	39
รูปที่ 4.14 ปริมาณของออกซิเจนละลายของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 ปริมาณของออกซิเจนละลายของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยง เห็ดนางฟ้า	40
รูปที่ 4.16 ปริมาณ BOD ของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	41
รูปที่ 4.17 ปริมาณ BOD ของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า	42
รูปที่ 4.18 ปริมาณ COD ของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	43
รูปที่ 4.19 ปริมาณ COD ของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า	43
รูปที่ 4.20 ระดับอุณหภูมิของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน	44
รูปที่ 4.21 ระดับอุณหภูมิของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า	45
รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเห็ดนางฟ้าในช่วงเวลาการเพาะเลี้ยง 1 เดือน	46
รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเห็ดนางฟ้าในช่วงเวลาการเพาะเลี้ยง 1 เดือน	47
รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเห็ดนางฟ้าในช่วงเวลาการเพาะเลี้ยง 1 เดือน	48
รูปที่ 4.25 การปลดปล่อยอินทรีย์วัตถุจากการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย	51
รูปที่ 4.26 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย	52
รูปที่ 4.27 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย	52
รูปที่ 4.28 การปลดปล่อยโพแทสเซียมจากการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย	52
รูปที่ 4.29 การปลดปล่อย CO ₂ จากการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย	54
รูปที่ 4.30 การปลดปล่อย CO ₂ สะสมจากการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย	55

การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากແຫນແຕງທີ່เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากถ้งย่อยไร้อากาศจากฟาร์ม เลี้ยงสุกร

Soil Amendment Production by Azolla Using Anaerobic Digester of Piggery Wastewater

ศิริภรณ์ ชื่นบาล และ ธูปน ชื่นบาล

Siraporn Cheunbarn, Tapana Cheunbarn

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ฟาร์มเพาะเลี้ยงสุกรซึ่งมีกระจัดกระจายเป็นจำนวนมากในทุกภาคของประเทศ ถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำในประเทศไทย เนื่องจากน้ำทิ้งที่ไม่ได้คุณภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ແຫນແຕງที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากถ้งย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกรเป็นวัสดุปรับปรุงดินและเพื่อแก้ปัญหาของเสียจากฟาร์มสุกร การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเพาะเลี้ยงແຫນແຕງในน้ำทิ้งจากถ้งย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0 2 4 6 8 และ 10 % เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยใช้อ่างดินเผาความจุ 10 ลิตร ศึกษาการเจริญของແຫນແຕງและประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพของน้ำทิ้ง จากผลการทดลองพบว่าແຫນແຕງเจริญได้ดีในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่ำๆ มากกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ โดยพบว่าระดับความเข้มข้นความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% แຫນແຕງมีการเจริญสูงที่สุด โดยมีน้ำหนักสด $405.5 \pm 19.5 \text{ g/m}^2$ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง $16.46 \pm 0.8 \text{ g/m}^2$ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.11 d^{-1} ระยะเวลาในการเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่า (doubling time) 4.25 d เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่มีແຫນແຕงนั้น สามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำจากฟาร์มสุกรได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีสาหร่าย เนื่องจากແຫນແຕง มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ สารอาหาร ของแฉ่งแขวนลอย ได้มากกว่าระบบที่ไม่มีແຫນແຕง แຫນແຕงที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% มีไนโตรเจนร้อยละ 3.53 ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่ากับ 0.87 และ 7.43 มีค่า C/N 12.49

เมื่อนำແຫນແຕงมาทดสอบการปลดปล่อยคาร์บอนและธาตุอาหารพืชด้วยวิธีการบ่มดินร่วมกับແຫນແຕง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 3 ชุดการ

ทดลองได้แก่ ชุดควบคุม (ดิน 100 g) ชุดการทดลองที่ 1 (ดิน 100 g ร่วมกับແຮ່ແດງ 0.5 g น้ำหนักแห้ง) และชุดการทดลองที่ 2 (ดิน 100 g ร่วมกับແຮ່ແດງ 1 g น้ำหนักแห้ง) ทำการบ่มดินในกระป๋องพลาสติกปิดสนิท ผลการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และมีการปลดปล่อยสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2 ในขณะที่การย่อยสลายธาตุอาหารและปลดปล่อยออกมาพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินสูงสุดอีก ทั้งยังพบว่าการใช้ແຮ່ແດງสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้

คำสำคัญ แหะແຮ່ແດງ วัสดุปรับปรุงดิน น้ำทิ้งจากจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกร

Abstract

Piggery farms, which are scattered in every region of the country, are main cause of water pollution in Thailand due to poor quality effluent. This research aims to study the feasibility of azolla culture in effluent from anaerobically treated piggery wastewater used as soil amendment and to solve the problems of waste from piggery farms. In this study, azolla were cultivated by using effluent from anaerobically treated piggery wastewater at concentration of 0, 2, 4, 6, 8 and 10% dilution in 10 liter of containers for 1 month. The growth and wastewater treatment efficiency were investigated. Results showed that azolla could be growth better at low effluent dilution than high effluent dilution. At 2% effluent dilute concentration showed the highest growth with fresh weigh at $405.5 \pm 19.5 \text{ g/m}^2$, dry weight at $16.46 \pm 0.8 \text{ g/m}^2$, the specific growth rate at 0.11 d^{-1} with 4.25 d of doubling time. At the end of experiment, results showed that treatment with azolla were better for improve the water quality than treatment without azolla because of the azolla gave better removal efficiency in organic matter, nutrients and suspended solids than treatment without azolla. The azolla that culture in 2% concentration had percentage of N at 3.35, P and K at 0.87 and 7.43, respectively. C/N was 12.49.

The azolla was determined the carbon emission and nutrients with completely randomized design (CRD) was used in three (3) distinct sets of experiments, control (soil 100 g), treatment 1 (soil 100 g with dried azolla 0.5 g) and treatment 2 (soil 100 g with dried azolla 1 g). All of them incubated in closed separated plastic jars. The results were found the highest CO_2 were appeared in week 2 for all treatments, especially, in treatment 2. While decompose and release nutrient showed that the highest N, P and K were found in treatment 2. The adding azolla would be able increase organic materials of soil.

Key words: azolla, soil amendment, anaerobically treated piggery wastewater

บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

สำหรับประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรมนั้น การเกษตรกรรมและผลผลิตทางการเกษตรถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญ เมื่อเป็นดังนี้จะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมนั้นย่อมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ แต่เนื่องจากในสภาพปัจจุบันนั้นสภาวะแวดล้อมที่ได้เสื่อมโทรมลงอย่างมาก จะเห็นได้จากปัญหาเรื่องความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและทรัพยากรน้ำ สิ่งเหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตความเป็นอยู่ รวมทั้งผลผลิตทางการเกษตรอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมเหล่านี้นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรง เนื่องมาจากการจัดการที่ไม่ถูกต้อง เช่น การเพาะปลูกที่พึ่งพาปุ๋ยเคมี ซึ่งมีราคาแพงและยังมีผลตกค้างทั้งในผลผลิต ดิน น้ำและสภาพแวดล้อมอื่นๆ อีกด้วย ทั้งยังทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค ดังนั้นในปัจจุบันการเพาะปลูกแบบเกษตรอินทรีย์จึงเข้ามามีบทบาท เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำ ผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัยสูงอีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนปัญหาเรื่องความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำตามธรรมชาตินั้น มาจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มาจากทั้งภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรม โดยภาคการเกษตรนั้นที่สำคัญได้แก่น้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีสารอินทรีย์แอมโมเนีย และของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง ส่วนภาคอุตสาหกรรมนั้น ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นสำคัญ เช่น อุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหารแห้งต่างๆ และอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น เป็นน้ำทิ้งที่มีค่าสารอินทรีย์สูงเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำทิ้งเหล่านี้ถ้าไม่ได้รับการจัดการที่ดีพอ ย่อมส่งผลทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติเกิดการเสื่อมโทรมได้

จากปัญหาความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำตามธรรมชาติในปัจจุบัน ส่งผลกระทบอย่างมากต่อผลผลิตทางการเกษตร แต่การแก้ไขปัญหานี้ทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากต้องใช้ทั้งเทคโนโลยีและค่าใช้จ่ายที่สูงเป็นเหตุให้ปัญหาเหล่านี้ถูกละเลย ในความเป็นจริงแล้วปัญหาเหล่านี้มีแนวทางแก้ไขที่ไม่ยุ่งยาก โดยสามารถใช้วิธีทางธรรมชาติ เนื่องจากสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์หรือจากกระบวนการอุตสาหกรรมในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ มีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่าย โดยพืชน้ำและสาหร่ายเหล่านี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้และยังสามารถเก็บสะสมเป็นมวลซึ่งสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยพืชสดหรือวัสดุปรับปรุงดินได้

ซึ่งนอกจากจะช่วยทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพที่ดีขึ้น ไม่ทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติเน่าเสียแล้ว เกษตรกรยังได้ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดินไว้ใช้แทนการใช้ปุ๋ยเคมีอีกด้วย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ແຜ່ນແດງ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบบำบัดด้อยไรร่ อากาศจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ทั้งนี้เนื่องจากແຜ່ນແດງนั้นพบได้ทั่วไป สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วโดยสามารถให้ผลผลิตถึง 3 ต้นต่อไร่ถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม (วรารณ, 2551) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วແຜ່ນແດງนิยมนำมาทำปุ๋ยพืชสด เนื่องจากมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 3-5 ของน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากແຜ່ນແດງมีความสัมพันธ์กับสาหร่าย *Anabaena* sp. แบบพึ่งพาอาศัย (mutualism) ซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (nitrogen fixation) ได้ จึงสามารถนำมาใช้ทดแทนหรือลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้

แม้ว่าແຜ່ນແດງในปัจจุบันนั้น ได้มีการปลูกในนาข้าวเพื่อใช้เป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน และยังมีการนำมาใช้ทำปุ๋ยพืชสดอยู่แล้ว แต่ก็ยังอยู่ในหมู่เกษตรกรที่ไม่มากนัก และนิยมใช้สำหรับในนาข้าวเท่านั้น ยังมีได้นำมาเพาะเลี้ยงอย่างจริงจัง โดยเฉพาะการนำมาเพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีสารอาหารอยู่มาก และยังไม่มีการศึกษาในการใช้ประโยชน์อย่างจริงจังในการพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน ในแง่ของธาตุอาหาร และการปลดปล่อยธาตุอาหาร ซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญที่เป็นประโยชน์ในอนาคต ในการพัฒนาແຜ່ນແດງเพื่อใช้ผลิตวัสดุปรับปรุงดินอย่างจริงจัง โดยสามารถใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ หรือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตร ที่มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่จำนวนมากในการเพาะเลี้ยง ซึ่งจะช่วยในการบำบัดน้ำทิ้งได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงແຜ່ນແດງจากน้ำทิ้งระบบด้อยไรร่ อากาศของฟาร์มสุกร
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของແຜ່ນແດງในการบำบัดน้ำทิ้ง จากระบบด้อยไรร่ อากาศของฟาร์มสุกร
3. เพื่อศึกษารูปแบบและปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของແຜ່ນແດງเพื่อพัฒนาเป็นการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้าเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์
2. สามารถนำเห็ดนางฟ้าไปพัฒนาให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินแก้เคษตรกร

ขอบเขตของงานวิจัย

1. น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นล้นจากถังย่อยไร้อากาศของฟาร์มเลี้ยงสุกร
2. เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

การตรวจเอกสาร

สถานการณ์การเลี้ยงสุกรในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกสิกรรมนั้น พบว่าอาชีพการเลี้ยงสุกรถือว่ามี ความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจและคุณภาพความเป็นอยู่ของเกษตรกรไทย โดยในปี 2558 มี เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรทั้งหมดจำนวน 191,289 ครัวเรือน เป็นจำนวนสุกรที่เลี้ยงทั้งสิ้น 9,886,897 ตัว โดย จังหวัดเชียงใหม่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรมากที่สุดจำนวน 15,481 ครัวเรือน (ร้อยละ 8.09) รองลงมาคือ จังหวัดอุดรธานี สุรินทร์ เชียงราย และ นครราชสีมา ตามลำดับ ในขณะที่ จังหวัดราชบุรีมี การเลี้ยงสุกรมากที่สุด จำนวน 1,755,325 ตัว (ร้อยละ 17.75) รองลงมาคือ จังหวัดชลบุรี นครราชสีมา เชียงใหม่และกำแพงเพชรตามลำดับ ซึ่งมีการเลี้ยงเพิ่มขึ้นจากปี 2557 อยู่ร้อยละ 4.02 โดยในปี 2557 มีการเลี้ยงสุกร ทั้งสิ้น 191,545 ครัวเรือน เป็นจำนวนสุกรที่ เลี้ยงทั้งสิ้น 9,504,921 ตัว โดย จังหวัดเชียงใหม่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรมากที่สุดจำนวน 16,256 ครัวเรือน (ร้อยละ 8.49) รองลงมาคือจังหวัดเชียงราย สุรินทร์ อุบลราชธานีและนครศรีธรรมราช ตามลำดับ ในขณะที่จังหวัดราชบุรีมีการเลี้ยงสุกรมากที่สุดจำนวน1,738,448 ตัว (ร้อยละ18.29) รองลงมาคือจังหวัดชลบุรีกำแพงเพชรนครราชสีมา และ ฉะเชิงเทรา ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์,2559) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 จากข้อมูลพบว่าการเลี้ยงสุกรเป็นจำนวน มากในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากการบริโภคและการส่งออกสุกรเป็นจำนวนมาก ถือได้ว่าเป็นสินค้า เกษตรที่สำคัญ โดยสถิติการส่งออกจากสำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2559) พบว่า ในปี 2558 ประเทศไทยมีการส่งออกสุกรทั้งสิ้น 17,079,938 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า การส่งออกทั้งสิ้น 2,746 ล้านบาท ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการส่งออกที่เพิ่มขึ้นจากปี 2553 คิดเป็น 44.4 % ที่โดยในปี 2553 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 1,902 ล้านบาท รายละเอียดมูลค่าของการส่งออกสุกร แสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 จังหวัดที่มีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรมากที่สุด 5 อันดับแรกปี พ.ศ. 2558

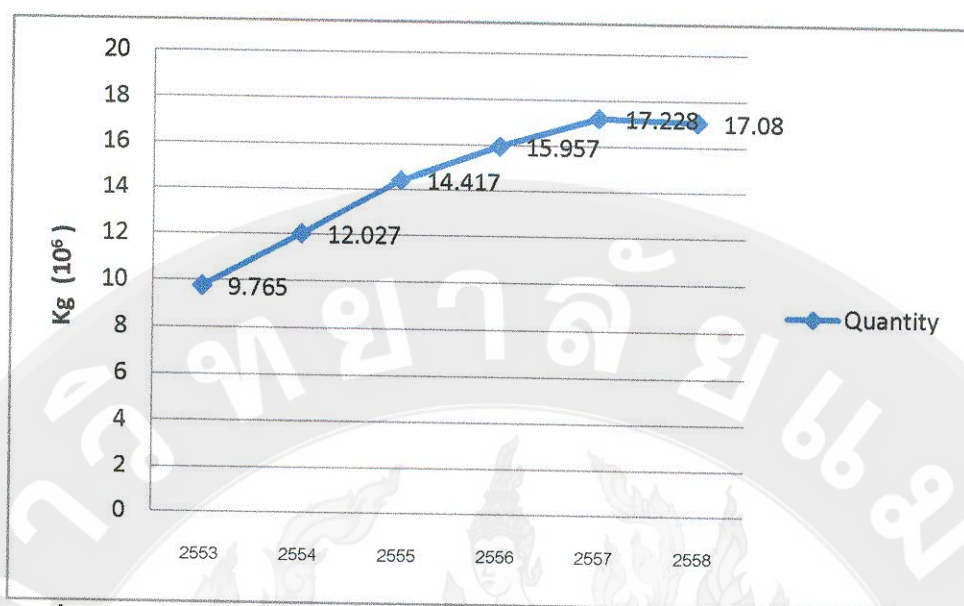
ปี	ลำดับ ที่	จังหวัด	เกษตรกร (ครัวเรือน)	
			จำนวน	ร้อยละ
2557	1	เชียงใหม่	16,256	8.49
	2	เชียงราย	8,733	4.56
	3	สุรินทร์	8,707	4.55
	4	อุบลราชธานี	8,275	4.32
	5	นครศรีธรรมราช	7,428	3.88
2558	1	เชียงใหม่	15,481	8.09
	2	อุดรธานี	9,378	4.90
	3	สุรินทร์	8,553	4.47
	4	เชียงราย	8,115	4.24
	5	นครราชสีมา	7,881	4.12

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2559)

ตารางที่ 2.2 จังหวัดที่มีจำนวนสุกรมากที่สุด 5 อันดับแรกปี พ.ศ. 2558

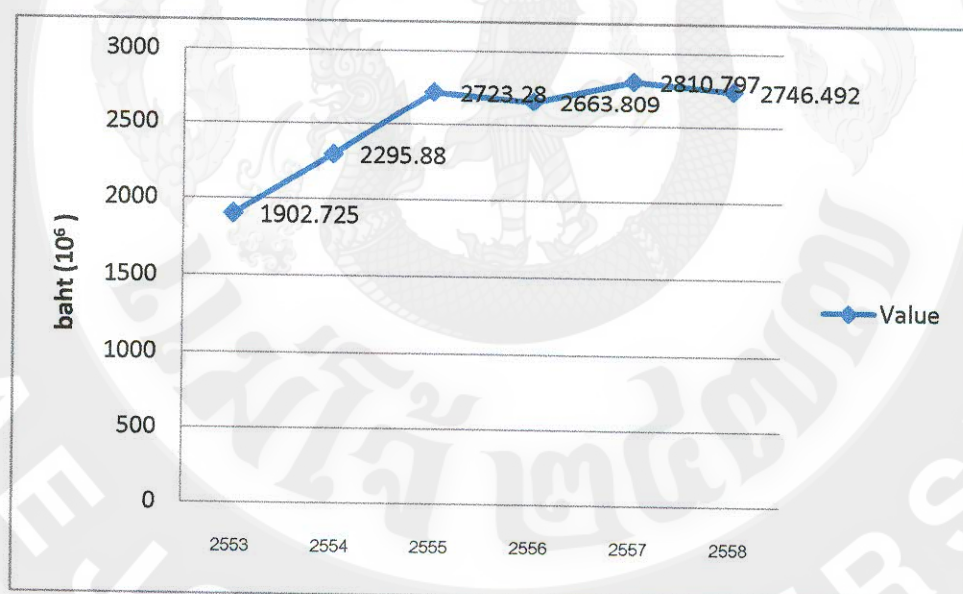
ปี	ลำดับ ที่	จังหวัด	เกษตรกร (ครัวเรือน)	
			จำนวน	ร้อยละ
2557	1	ราชบุรี	1,738,448	18.29
	2	ชลบุรี	775,988	8.16
	3	กำแพงเพชร	445,666	4.69
	4	นครราชสีมา	366,545	3.86
	5	ฉะเชิงเทรา	336,432	3.54
2558	1	ราชบุรี	1,755,325	17.75
	2	ชลบุรี	598,879	6.06
	3	นครราชสีมา	553,044	5.59
	4	เชียงใหม่	435,084	4.40
	5	กำแพงเพชร	379,719	3.84

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2559)



รูปที่ 2.1 ปริมาณการส่งออกเนื้อสุกร ปี 2553-2558

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2559)



รูปที่ 2.2 มูลค่าการส่งออกเนื้อสุกร ปี 2553-2558

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2559)

ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

สำหรับของเสียในฟาร์มสุกรเกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ คือ เศษอาหาร มูล ปัสสาวะ น้ำล้างคอก ก๊าซต่าง ๆ และสารระเหยที่มีกลิ่นจากการสลายตัวของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายแล้ว ปริมาณของสิ่งขับถ่ายและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของฟาร์ม หรือจำนวนสัตว์ขุนคอก ลักษณะอาหารและวิธีการให้อาหาร ขนาด ชนิดของสัตว์และประเภทสัตว์ที่เลี้ยง ลักษณะโรงเรือนและระบบการจัดการของเสีย วิธีการทำความสะอาดคอกและปริมาณน้ำที่ใช้ล้างหรือทำความสะอาด โดยปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวันจะแตกต่างกันตามขนาดของสุกรด้วย เช่น แม่สุกรกับสุกรขุนที่มีน้ำหนักเท่ากัน คือ 90 - 120 กิโลกรัม จะขับถ่ายของเสียเท่ากับ 4 และ 12 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3) และเมื่อเปรียบเทียบกับ การขับถ่ายของสัตว์ชนิดอื่น ปรากฏว่าสุกรขับถ่ายมากกว่าม้าและโค กระบือถึงสองเท่า (เมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก) (นิพนธ์, 2526) ขณะที่กรมปศุสัตว์ (2533) รายงานว่า ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว พันธุ์ อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อยอาหาร สิ่งแวดล้อมและการจัดการเกี่ยวกับของเสีย ซึ่งลักษณะน้ำเสียของฟาร์มสุกรโดยทั่วไป แสดงไว้ดังตารางที่ 2.4

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีความเข้มข้นสูงมาก ทั้งในรูปของบีโอดีและธาตุอาหาร (ธงชัย, 2544) ซึ่งเมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ จะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน จากการมีธาตุอาหารในโตรเจนและ/หรือฟอสฟอรัสมากเกินไปในแหล่งน้ำปิด ในประเทศไทยพบปัญหายูโทรฟิเคชัน หรือสาหร่ายสะพรั่ง ที่เรียกกันว่า จี๊ปลาวาพ ในหลายพื้นที่แล้ว เช่น ทะเลสาบสงขลาและทะเลน้อย (Sompongchaiyakul *et al.*, 2004; อัสมน และคณะ 2551) อ่างเก็บน้ำ บางพระ จังหวัดชลบุรี (รัฐชา, 2545) เมื่อปี พ.ศ. 2543 เกิดปัญหาแพลงตอนพืชสะพรั่งขึ้นที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ เป็นบริเวณกว้างกว่า 3 กิโลเมตร ตามชายฝั่งทะเลปากแม่น้ำ (ธงชัย, 2544) จึงได้มีการควบคุมการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยกรมควบคุมมลพิษเพื่อให้มีการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งมีค่ากำหนด ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ต่าง ๆ ในแต่ละวัน

ชนิดสัตว์ที่ขับถ่าย	น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	ร้อยละของความชื้น	ปริมาตร (ลิตรต่อวัน)
แม่สุกรท้องว่าง	90-120	90	4
สุกรขุน อาหารแห้ง	90-120	90	12
สุกรขุน อาหารเหลว (4:1)	40-75	90	4

ที่มา : สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549: ระบบออนไลน์)

ที่สำคัญที่สุดของฟาร์ม ทั้งนี้เนื่องจากมีของเสียทั้งเรื่องของมูลสุกรและน้ำล้างคอก โดยทั่วไปฟาร์มสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ 2 ประเภท ดังนี้

1. น้ำเสีย

น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการล้างทำความสะอาดคอกหรือโรงเรือนสุกร ซึ่งผู้เลี้ยงมักทำการฉีดล้างทุกวัน ส่วนปัสสาวะของสุกร จัดว่ามีปริมาณน้อยมาก

2. ของเสีย

ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรประกอบด้วยมูลสุกร ซึ่งประกอบไปด้วยกากอาหารที่ย่อยไม่ได้ เช่น ส่วนที่เป็นของแข็งพวกเยื่อใยหรือส่วนที่ย่อยได้แต่ไม่ถูกดูดซึมและสิ่งที่ปล่อยออกมาจากร่างกายสัตว์ โดยเฉพาะกระบวนการทางเดินอาหาร เช่น เยื่อผนังลำไส้ เยื่อเมือก น้ำย่อย แร่ธาตุ และแบคทีเรีย เป็นต้น ในมูลสุกรประกอบไปด้วยน้ำ 65-85% อินทรีย์วัตถุ 10-20 % และอนินทรีย์วัตถุ 10 % โดยอายุและน้ำหนักของสุกรของสุกรมีผลต่อปริมาณของสิ่งขับถ่ายด้วย นอกจากนี้ยังมีของเสียอื่นๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตสุกร เช่น เข็มฉีดยา ถุงใส่อาหาร ซากสุกร เป็นต้น

เมื่อของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีสารอินทรีย์ในระดับสูงไหลลงแหล่งน้ำ จะมีกลไกทางธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์เกิดขึ้น คือ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำถูกใช้ในการย่อยสลายและสารเคมีเชิงซ้อนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ จะถูกเปลี่ยนเป็นสารออกไซด์เชิงเดี่ยวจำพวก CO_2 , NO , SO_4 , PO_4^{+} และสารอื่น ๆ ออกซิเจนจึงน้อยลงตามลำดับจนหมด ส่งผลให้ปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ขาดออกซิเจนที่จำเป็นต่อชีวิตและตายในที่สุด ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ต่ำจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาในไตรฟิเคชันต่ำ และเกิดปฏิกิริยาคีโนไตรฟิเคชันสูงขึ้น (Adave *et al.*, 2008) การปนเปื้อนของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไอออนหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^{+}$) ก็เพิ่มการใช้ ออกซิเจนโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียเพื่อเปลี่ยน $\text{NH}_3/\text{NH}_4^{+}$ เป็นไนไตรท์ (NO_2) และไนเตรท (NO_3) ในขบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วน blue-green algae ที่ได้รับไนโตรเจนสูงในน้ำที่ไหลเข้าสามารถเป็นพิษต่อผู้ใช้น้ำได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือถังย่อยไร้อากาศนี้เป็น กระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือในสลัดจ์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยสารอินทรีย์ที่อยู่ในของเสียจะถูกกำจัดไปพร้อมกับการผลิตพลังงานซึ่งของเสียจากปศุสัตว์และสุกรเป็นแหล่งผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความสำคัญมากกว่าของเสียอื่นๆ (Hansen *et al.*, 1997)

ซึ่งก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนนี้เสมอ และระบบยังสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อีกด้วย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถใช้อิโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการจะได้มีเทนเป็นองค์ประกอบหลักและสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือถังย่อยไร้อากาศนี้ ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารและสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงที่มีของแข็งอยู่ด้วย และระหว่างการบำบัดก็จะผลิตก๊าซมีเทนขึ้นโดยไม่ต้องใช้พลังงาน (Feng *et al.*, 2007) และผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วย ซึ่งระบบแบบนี้เป็นระบบที่ไม่ต้องมีการเติมอากาศ จึงทำให้ประหยัดพลังงาน และยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้อีกด้วย (สุวิมล, 2548) ซึ่งองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซต่างๆคือ มีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60-70 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-40 ไฮโดรเจนประมาณร้อยละ 5-10 และก๊าซอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน (N_2) ประมาณร้อยละ 2-3 และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณร้อยละ 1-2 นอกจากก๊าซชีวภาพที่ได้แล้ว ยังสามารถดกกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และลดระดับปริมาณของจุลินทรีย์ก่อโรคต่างๆ ไม่ให้แพร่กระจายไปสู่สภาพแวดล้อมอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามกลิ่นที่ไหลออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและจุลธาตุในน้ำที่ผ่านการบำบัดและกากตะกอน พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารดังตารางที่ 2.6 ซึ่งถ้าปล่อยออกไปสู่สภาพแวดล้อมอาจทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียได้ โดยทั่วไปแล้วกลิ่นเหล่านี้ต้องได้รับการบำบัดขั้นสุดท้ายเสียก่อน โดยมีพืชหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ได้ เช่น ระบบบึงประดิษฐ์ (Tanner *et al.*, 1995) ผักตบชวา (Costa *et al.*, 2000) จอกแหน (Bonomo *et al.*, 1997) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Markou and Georgakakis, 2011) ซึ่งการบำบัดด้วยพืชนี้ นอกจากจะให้ผลดีแล้ว ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นการนำพืชเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ก็ย่อมมีความสำคัญ โดยเฉพาะสาหร่ายนั้นสามารถนำมาพัฒนาเป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดินได้ดี (Wilkie and Mulbry, 2002) แต่อย่างไรก็ตามสาหร่ายส่วนมากมีวิธีที่ยุ่งยากในการเก็บเกี่ยว และการทำแห้ง เนื่องจากต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้พืชในการบำบัดน้ำทิ้งขั้นสุดท้ายเหล่านี้ควรคำนึงถึงปัญหาเหล่านี้เป็นสำคัญ พืชที่เลือกควรเป็นพืชที่เพาะเลี้ยงได้ง่าย เจริญเติบโตเร็ว สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ และที่สำคัญค่าใช้จ่ายไม่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงจูงใจต่อเกษตรกรในการหันมาสนใจในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ หรือสำหรับการหมุนเวียนเพื่อนำมาใช้ในการเลี้ยงคอกมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.6 ผลการวิเคราะห์กากตะกอนแห้งและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ค่าพารามิเตอร์	ตัวอย่าง	
	น้ำล้น	มูลสุกรแห้ง
pH	6.71	6.23
EC (dS/m)	6.15	3.70
% N (Total – N)	0.19	1.84
S (ppm)	ไม่มี	ไม่วิเคราะห์
P (ppm)	2,089	6,928
K (ppm)	ไม่มี	2,146
Ca (ppm)	3,320	73,898
Mg (ppm)	816	12, 342
Zn (ppm)	110	651
Cu (ppm)	13.20	147
Mn (ppm)	ไม่วิเคราะห์	999
Fe (ppm)	ไม่วิเคราะห์	3,973
% C	ไม่วิเคราะห์	19.51
% C/N	ไม่วิเคราะห์	10.60

ที่มา : รุปน และคณะ 2553

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแหนแดง



รูปที่ 2.3 แหนแดง

อนุกรมวิธานของสาหร่าย *Phormidium* sp.

Kingdom Plantae

Division Pteridophyta

Class Filicopsida

Order Salviniiales

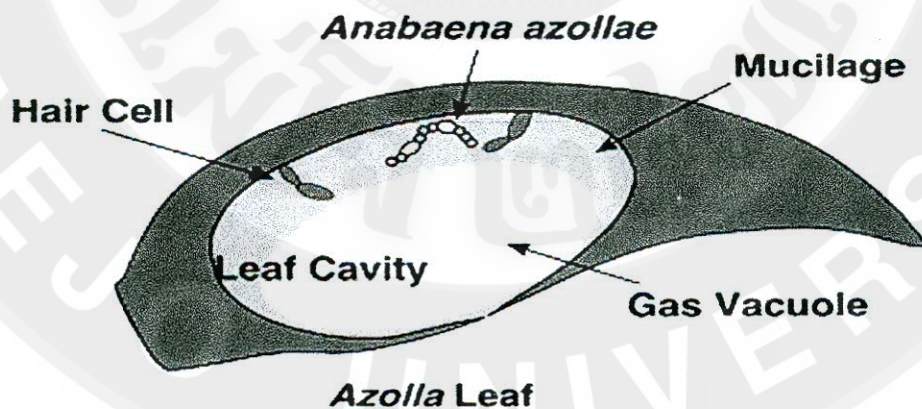
Family Azillaceae

Genus *Azolla*

แหนแดง (*Azolla*, water fern, water velvet) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Azolla* spp. เป็นคำประสมระหว่างภาษากรีก 2 คำคือ azo ซึ่งแปลว่า แห้ง และคำว่า allyo ซึ่งแปลว่า ตาย ดังนั้นโดยรวมแล้วจะหมายความว่า พืชที่ไม่สามารถเจริญได้เมื่ออยู่ในสภาวะไม่มีน้ำ โดยทั่วไปหมายถึงเฟิร์นขนาดเล็กชนิดหนึ่ง องค์ประกอบที่สำคัญของแหนแดงได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเซลลูโลส แหนแดงต้องการธาตุอาหารหลักที่สำคัญได้แก่ ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม และจุลธาตุที่สำคัญ

ได้แก่ เหล็กและโมลิบดีนัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ไนโตรจิเนส ในการตรึงไนโตรเจน

แหนแดงมีถิ่นอาศัยดั้งเดิมในเขตร้อนคือทวีปเอเชีย แอฟริกา และอเมริกา มีด้วยกันหลายชนิด เช่น *Azolla caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. microphylla*, *A. Mexicana*, *A. nilotica*, *A. pinnata* และ *A. rubra* แหนแดงที่พบแพร่หลายในประเทศไทยคือ *A. pinnata* สามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศ (สร้างสปอร์) และไม่อาศัยเพศ (ขาดเป็นท่อน) ในบริเวณโคนใบ ลักษณะโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ลำต้น (rhizome) ราก (root) และใบ (lobe) มีกิ่งแยกจากลำต้น ใบเกิดตามกิ่งเรียงสลับกันไปแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือใบบน (dorsal lobe) และใบล่าง (ventral lobe) มีขนาดใกล้เคียงกัน รากของแหนแดงจะห้อยลงไปใต้น้ำตามแนวดิ่งและอาจฝังลงไปดินโคลนได้ ใบบนมีโพรงขนาดใหญ่ และเป็นที่อาศัยของ *Anabaena* spp. ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อาศัยอยู่ในลักษณะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (รูปที่ 2.4) โดยที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินนี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบในรูปของแอมโมเนียให้แหนแดงใช้ประโยชน์ได้ ส่วนสาหร่ายก็จะได้รับสารอาหารจากแหนแดง ด้วยเหตุนี้ทำให้แหนแดงเจริญเติบโตได้เร็วและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง และการที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงทำให้แหนแดงสลายตัวได้ง่ายและปลดปล่อยไนโตรเจนและธาตุอาหารพืชอื่นๆ ออกมาอย่างรวดเร็วเพื่อให้พืชอื่นหรือจุลินทรีย์นำไปใช้ต่อไป จากการศึกษพบว่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในดินแหนแดงจะถูกปลดปล่อยออกมาภายใน 8 สัปดาห์หลังจากการไถกลบ (วรภรณ์, 2551)

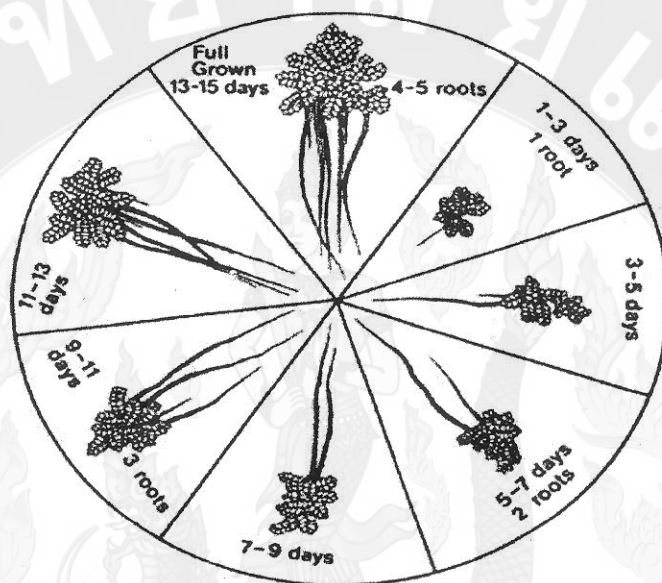


รูปที่ 2.4 สาหร่ายแอนนาบินาในโพรงใบของแหนแดง

ที่มา Uheda and Kazuhiro (2009)

การขยายพันธุ์ ทำได้ 2 วิธี คือ

1. การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการหลุดร่วงของใบที่ฐานของกิ่ง ซึ่งมักพบโดยทั่วไปในสภาพตามธรรมชาติ



Fragmentation of Azolla

รูปที่ 2.5 การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของแหนแดง (Saunders and Fowler, 1993)

2. การขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยการสร้างสปอร์สืบพันธุ์เพศผู้ และเพศเมีย

แหนแดงที่เห็นในธรรมชาติเป็นระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น แม้เมื่อมีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมแหนแดงจะเปลี่ยนระบบการขยายพันธุ์จากการเจริญเติบโตทางลำต้น เป็นการสร้างสปอร์ทั้งเพศผู้และเพศเมียในต้นเดียวกัน ซึ่งจะพบได้บริเวณใบแรกของกอลิปล่างของต้น สปอร์เพศผู้ (microsporocarp) มีลักษณะกลมขนาดใหญ่ ภายในบรรจุสปอร์เล็ก ๆ (microspore) ประมาณ 32-64 อัน ซึ่งจะเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนหลายก้อน เรียกว่า massulae ส่วนสปอร์เพศเมีย (macrosporocarp) มีขนาดเล็กกว่าเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ ประกอบไปด้วยสองส่วนคือ ฟลุตลอย (floats) และ ไข่ (megaspore) ซึ่งมีอยู่เพียงใบเดียว เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม microsporocarp และ macrosporocarp จะผสมพันธุ์เกิดเป็นตัวอ่อนที่เรียกว่า zygote ซึ่ง zygote นี้จะเจริญเติบโต เป็นต้นแหนแดงต่อไป

ถิ่นที่อยู่อาศัย

แหนแดงมีถิ่นอาศัยดั้งเดิมในเขตร้อนคือทวีปเอเชีย แอฟริกา และอเมริกา มีด้วยกันหลายชนิด เช่น *Azolla caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. microphylla*, *A. Mexicana*, *A. nilotica*, *A. pinnata* และ *A. rubra* แหนแดงที่พบแพร่หลายในประเทศไทยคือ *A. pinnata* เป็นพืชที่ขึ้นอยู่ตามห้วยหนอง คลอง บึง หรือที่มีน้ำนิ่งและแสงแดดส่องถึง หรือในนาข้าว เจริญได้ดีในน้ำที่มี อุณหภูมิ 18-25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ระหว่าง 85-90 เปอร์เซ็นต์ แสง 50-75 เปอร์เซ็นต์ของแดดปกติ (1700 $\mu\text{E}/\text{M}^2\text{S}^{-1}$) และในสภาพที่ความเค็มต่ำกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ของเกลือ มีค่า pH ระหว่าง 3.5- 7.0 สามารถเจริญได้แม้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Anabaena* spp. ที่อาศัยอยู่บริเวณใบของแหนแดงซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ดี จึงนิยมนำมาทำเป็นปุ๋ยพืชสด โดยพบว่าในช่วงเวลาเพียง 1 เดือน แหนแดงจะสามารถสะสมไนโตรเจนได้ถึง 10-20 กิโลกรัมต่อไร่ องค์ประกอบทางเคมีของแหนแดงแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของแหนแดง

องค์ประกอบทางเคมี	% ธาตุอาหารต่อน้ำหนักแห้งของแหนแดง
Ash	10.5
Crude fat	3-3.36
Crude protein	35
Nitrogen	23-30
Phosphorus	0.5-0.9
Calcium	0.1-1.0
Potassium	2-4.5
Magnesium	0.5-0.65
Iron	0.06-0.26
Soluble sugars	3.4-3.5
Starch	6.5-6.54
Chlorophyll	0.34-0.55

ที่มา (วรารักษ์, 2551)

คุณลักษณะเด่นของແຜ່ນແດງ

1. ເຈຣີຢູເດີບ ໂຕແລະຂຍາຍພັນຮູ້ໄດ້ຣາວຣ໌

ແຜ່ນແດງຂຍາຍພັນຮູ້ໄດ້ທັງແບບອາຊີເປສແລະໄມ່ອາຊີເປສ ການຂຍາຍພັນຮູ້ແບບໄມ່ອາຊີເປສ ດ້ວຍວິທີແຕກກິ່ງກັນ ສາມາດເພີ່ມປະລິມານແຜ່ນແດງເປັນສອງເທົ່າໃນເວລາເທິງ 3-7 ວັນ ໃນທາງປະຕິບັດ ຄຳ ເລີ່ມເລີ່ຍແຜ່ນແດງໂດຍໃຊ້ອັດຣາ 50-100 ກກ. ຕໍ່ໄວ້ ແຜ່ນແດງຈະຂຍາຍເຕີມພື້ນທີ່ໄດ້ນ້ຳໜັກແຜ່ນແດງສດ 2-3 ຕົ້ນຕໍໄວ້ ກາຍໃນ 2-3 ສັບຄາຮ້

2. ສາມາດເລີ່ຍໃຫ້ເຈຣີຢູເດີບໂຕໄດ້ໃນດິນທີ່ມີຄວາມອຸດມສະມຸຣ໌ຕ້ຳ

ແຜ່ນແດງສາມາດເລີ່ຍໃຫ້ເຈຣີຢູເດີບໂຕຂຍາຍພັນຮູ້ໄດ້ອ່າຍມີປະສິດທິພາບໃນດິນນາພາດ ຕະວັນອອກເຢັຍເນື້ອ ທັງນີ້ເພາະຄຸນສົມບັດໃນການຄູດຊັບຟອສເປດຂອງດິນດັ່ງຄ່າວຕ້ຳ ທຳໃຫ້ຢູ ຟອສເປດທີ່ໄດ້ໄມ່ຢູ່ຢືດໃນດິນເມື່ອດິນເຫຼື້ຍ ຫຼືພວກດິນກຸດຕ່າງໆ ທຳໃຫ້ຢູຟອສຟອສຣ໌ສື່ງເປັນ ຮາດູອາຫາຣ໌ສຳຄັດຕໍ່ການເຈຣີຢູເດີບໂຕຈາກຢູຟອສເປດໄດ້ດີຍັງຂຶ້ນ

3. ມີໄນໂຕຣເຈນແລະຮາດູອາຫາຣ໌ສອື່ນໆເປັນອົງປະກອບສູງ

ຂວນການຟຶ້ງພາອາຊີຮ່າງແຜ່ນແດງກັບສາຮ່າງສີເຫຼັກເກມນ້ຳເຈນໃນໂຟຣໂບແຜ່ນແດງ ທຳໃຫ້ແຜ່ນແດງສາມາດດຶງເອົາໄນໂຕຣເຈນຈາກອາກາສມາໃຊ້ສຳຮ່າງການເຈຣີຢູເດີບໂຕແລະຂຍາຍປະລິມານ ໄດ້ອ່າຍເຢັຍພອ ທຳໃຫ້ແຜ່ນແດງມີໄນໂຕຣເຈນຢູ່ໃນສ່ວນປະກອບສູງ ເມື່ອແຜ່ນແດງຂຍາຍເຕີມພື້ນທີ່ 1 ໄວ້ ຈະໃຫ້ໄນໂຕຣເຈນໄດ້ດຶງໄວ້ລະ 4-6 ກິໂລກຣັມ ນອກຈາກໄນໂຕຣເຈນແລ້ວ ຍັງມີຮາດູອາຫາຣ໌ສອື່ນໆ ເປັນ ອົງປະກອບໃນປະລິມານທີ່ຄ່ອນຂຶ້ງສູງ ເຊັ່ນ ຟອສຟອຣ໌ສ ໂຟເທສເຊີຍມ ເປັນຕົ້ນ

4. ສລາຍຕົວໄດ້ຣາວຣ໌

ເນື່ອງຈາກແຜ່ນແດງມີອັດຣາສ່ວນຂອງ C:N ຕ້ຳ (ປະມານ 12.9:1, Asuming-Brempong *et al.*, 2008) ທຳໃຫ້ກາຍໃນ 1 ສັບຄາຮ້ຫຼັງຈາກຢູດູກລົບ ແຜ່ນແດງຈະເລີ່ມຍ່ອຍສລາຍແລະປົດປ່ອຍຮາດູອາຫາຣ໌ສ ຟຶ້ງທີ່ເປັນສ່ວນປະກອບອອກມາແລະຮາດູອາຫາຣ໌ສຟຶ້ງທີ່ເປັນອົງປະກອບເຫຼົ່ານີ້ຈະຢູດູກປົດປ່ອຍອອກມາ ກາຍໃນ 8 ສັບຄາຮ້ຫຼັງຈາກຢູດູກລົບ

ໃນປະເທສເຄບເອເຊີຍຈະຮູ້ຈັກການໃຊ້ປະໂຫຮນຈາກແຜ່ນແດງໃນຫຼາຍລັກຊະ ເຊັ່ນ ໃຊ້ເປັນຢູ ຟຶ້ງສດສຳຮ່າງນາຂຶ້ວ ນອກຈາກນີ້ແຜ່ນແດງຍັງໃຊ້ເປັນອາຫາຣ໌ສຕົວ ເຊັ່ນ ປລາ ເປັດ ແລະກະຕ້ຳຍ (Van Hove, 1989) ໃຊ້ຄວບຄຸມວັງຟຶ້ງໃນນາຂຶ້ວ ແລະໃຊ້ສຳຮ່າງປັບປຸງຄຸນພາບນ້ຳດ້ວຍເພື່ອການກຳຈັດ ສາຣາຫາຣ໌ສສ່ວນເກີນທີ່ເຄຍເປັນສາເຫຸທຳໃຫ້ນ້ຳເນ່າເສີຍມາໃຊ້ປະໂຫຮນ ເຊັ່ນ ໄນໂຕຣເຈນແລະຟອສຟອຣ໌ສ ນອກຈາກການໃຊ້ເພື່ອຊ່ວຍເພີ່ມປະລິມານຂອງໄນໂຕຣເຈນໃນນາຂຶ້ວແລ້ວຍັງໃຊ້ໃນສຳຮ່າງຟຶ້ງເສຣຍຮູກອື່ນໆ ອື່ກຫຼາຍຊນິດເຊັ່ນ ເຟັອກ ມະເຈັອເທສ ຂຶ້ວຟ້າງແລະຄ່ຳຍ (Wager, 1997)

พืชที่เหมาะสมสำหรับการใช้แทนแควคือนาข้าว เนื่องจากทั้งข้าวและแทนแควนั้นชอบสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน เช่น มีน้ำขังคึ้นๆ การเจริญเติบโตที่รวดเร็ว มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ดี สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว และที่สำคัญคือสามารถเจริญเติบโตไปพร้อมกับต้นข้าวโดยไม่แย่งพื้นที่และแสงสว่าง แทนแควสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นของไนโตรเจน 5 ml atom/L และฟอสฟอรัส 20 ml atom/L โดยที่เซลล์ heterocyst จะพบได้มากในสถานะที่ปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีน (Hany, 2011))

ในการทำกรเกษตรแบบอินทรีย์นั้น หลักการสำคัญคือการทำดินให้ดีขึ้นอันดับแรก โดยเกษตรกรจะมีการปลูกพืชตระกูลถั่ว ไว้เป็นปุ๋ยพืชสด ซึ่งโดยส่วนมากแล้วพืชที่ใช้ปลูกเพื่อเป็นปุ๋ยพืชสดเหล่านี้มักจะสามารมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ แต่อย่างไรก็ตามการปลูกพืชตระกูลถั่วเหล่านี้มักไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลามาก (ชาวัช, 2551) ในขณะที่แทนแควจะเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว การลงทุนน้อย และสามารถย่อยสลายเป็นปุ๋ยได้ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชตระกูลถั่วอื่นๆ แทนแควสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ถึง 1.1 kg N₂/day (Arora and Singh, 2003) และสามารถสะสมไนโตรเจนได้ถึง 10-20 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ประมาณ 60-80 % ภายในเวลาเพียง 2 สัปดาห์ (Pabby *et al.*, 2003) เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยสำหรับปรับปรุงดิน

กลไกการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria) ในแทนแคว

แทนแควไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ด้วยตัวของมันเอง ดังนั้นจึงต้องอาศัยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อาศัยอยู่ในโพรงใบในการตรึงไนโตรเจน โดยเฉพาะสาหร่าย *Anabaena* sp. โดยเป็นสาหร่ายที่มีโครงสร้างเป็นเส้นสาย (filament) แต่จะมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ด้วยขบวนการ nitrogen fixation ได้ ส่วนหรือเซลล์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้นี้เรียกว่า heterocyst ซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างไปจากเซลล์อื่นๆ จนสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน โดยจะมีขนาดโตและไม่มีสี โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเหล่านี้จะทำหน้าที่ตรึง N₂ จากบรรยากาศ โดยใช้ Enzyme Nitrogenase เปลี่ยน N₂ ให้เป็น NH₃ ภายใต้สภาพ reduction จากนั้น NH₃ จะถูกแปรสภาพต่อไป โดยรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์จากแทนแควกลายเป็นสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนต่างๆ เช่น Glutamic acid

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแทนแควนี้เอง ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ดี และสามารถเก็บกักไนโตรเจนได้ดี เนื่องจากแทนแควมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ต่ำ เมื่อแทนแควตายลงและเน่าเปื่อย จึงสามารถย่อยสลายและ

ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้พืชได้อย่างรวดเร็ว ธาตุอาหารที่มีประโยชน์เหล่านี้ก็จะถูก
 ปลดปล่อยออกมาเพื่อให้พืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ด้วยเหตุนี้แทนแคงจึงนิยม
 นำมาใช้ในการทำเป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน และสามารถพัฒนาให้เป็นปุ๋ย
 และวัสดุปรับปรุงดินได้ในต้นทุนที่ต่ำ



วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมการทดลอง

1. ทำการสำรวจฟาร์มสุกร และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มเลี้ยงสุกร นำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของน้ำทิ้ง
2. สำรวจและเก็บตัวอย่างเหินแดงจากแปลงนาเกษตรอินทรีย์ และมาทำการเพาะเลี้ยงเพื่อขยายปริมาณให้เพียงพอต่อความต้องการต่อการทดลอง
3. นำอ่างบัวขนาด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 cm มาแช่น้ำเพื่อให้สิ่งเจือปนละลายออกมา และทำการล้างให้สะอาด

ตอนที่ 1 การทดสอบการเจริญของเหินแดงและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งของเหินแดง

1.1 นำเหินแดงที่ทำการเพาะเลี้ยงไว้ มาทำการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่เหมาะสมต่อการเจริญของเหินแดง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้ ชุดควบคุม (ไม่ใส่เหินแดง) และชุดการทดลอง (ใส่เหินแดง) โดยแต่ละชุดการทดลองใช้น้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 0% 2% (น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร 2 ส่วน น้ำสะอาด 98 ส่วน) 4%, 6%, 8%, 10% โดยใช้น้ำตัวอย่างปริมาตร 10 ลิตรใส่ลงในอ่างดินเผาที่ทำความสะอาดแล้ว นำเหินแดงที่ทำการเพาะเลี้ยงไว้ใส่ลงในอ่างโดยให้มีน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 12 กรัม น้ำหนักสด ทำการทดลองแบบ Completely randomized design จำนวน 3 ซ้ำ นำชุดการทดลองทั้งสองไปวางบนดินกลางแจ้งที่มีแสงแดดรำไร ทำการเติมน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นเท่าเดิมลงในอ่างให้เท่ากับการระเหยในทุกสัปดาห์

1.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งของเหินแดง โดยในแต่ละชุดการทดลองทำการตรวจวัดคุณภาพของน้ำก่อนทำการทดลองและภายหลังจากการทดลองในทุก 7 วันเป็นเวลา 1 เดือน โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำดังต่อไปนี้ pH โดยใช้ pH meter, อุณหภูมิ โดยใช้ เทอร์โมมิเตอร์, Nitrate-N, Ammonia-N และ Orthophosphate-Phosphorus โดยใช้ spectrophotometer, SS ด้วยการระเหยที่อุณหภูมิ 103-105 °C, DO ด้วยวิธี winkler method, BOD, ด้วยวิธี azide modification method และ COD ด้วยวิธี close reflux method

1.3 ทำการวัดการเจริญเติบโตของเหินแดง โดยทำการตรวจวัดน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดก่อนการทดลองและทุก 7 วันจนสิ้นสุดการทดลอง นำมาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและ doubling time

1.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งของແຜ່ນແດງ โดยทำการศึกษาการสะสมธาตุอาหารของແຜ່ນແດງที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากฟาร์มสุกรทุก 7 วัน ได้แก่ไนโตรเจน ด้วยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัส ด้วยวิธี Yellow method และโพแทสเซียม ด้วยวิธี Atomic absorption spectrophotometer

1.5 ทำการเพิ่มปริมาณของແຜ່ນແດງ โดยการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 1.3 และระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในข้อ 1.4 เพื่อให้ได้ແຜ່ນແດງที่มีปริมาณธาตุอาหารสูงและเพื่อให้ได้ແຜ່ນແດງในปริมาณที่ต้องการเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

1.6 ทำการเก็บเกี่ยวແຜ່ນແດງ แล้วนำมาอบเพื่อให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงพลาสติกเพื่อสำหรับการใช้ในการศึกษาในตอนต่อไป

ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของແຜ່ນແດງเพื่อทำเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

2.1 เตรียมดินสำหรับการทดลอง โดยนำดินอบจนแห้งแล้วมาทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm.

2.2 ออกแบบการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลองดังนี้

การทดลองชุดควบคุม ดิน (ดิน 100 g)

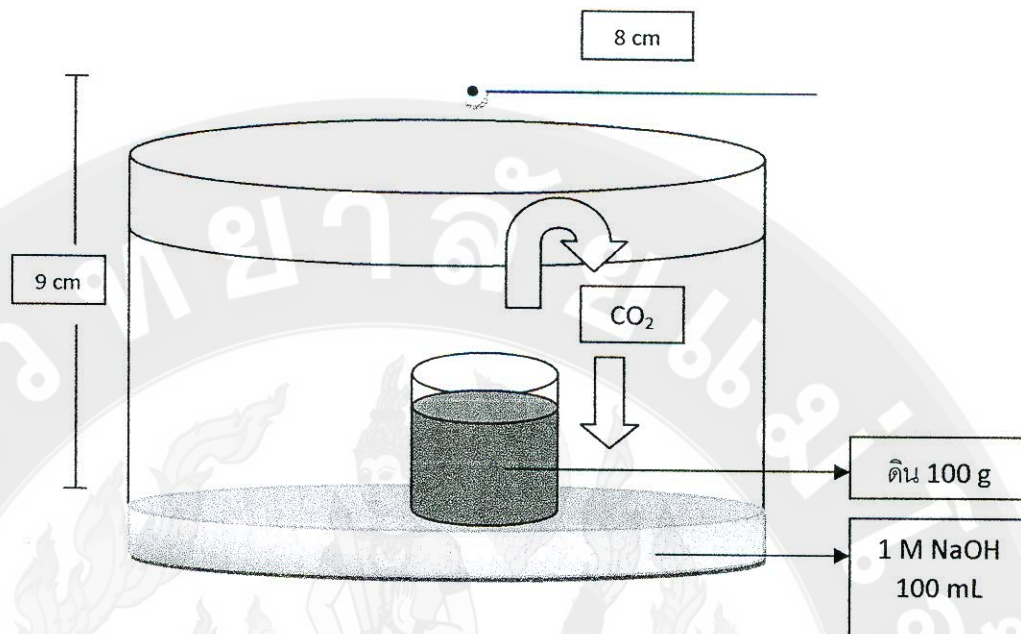
การทดลองชุดที่ 1 ดิน+ແຜ່ນແດງ 0.5 g (ดิน 100 g +ແຜ່ນແດງ 0.5 g)

การทดลองชุดที่ 2 ดิน+ແຜ່ນແດງ 1 g (ดิน 100 g +ແຜ່ນແດງ 1 g)

2.3 ทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินในชุดควบคุม และวัสดุปรับปรุงดินคือชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2

2.4 ทำการวิเคราะห์ความชื้นในดิน โดยการอบดินที่อุณหภูมิ $105-110^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการปรับความชื้นของดินให้เท่ากับ 60% ความจุอุ้มน้ำ

2.5 วัสดุการปลดปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการทดลองแบบ Completely randomized design การทดลองละ 3 ซ้ำ นำชุดการทดลองทั้ง 3 ไปบ่มในโถพลาสติกที่ปิดสนิท ที่ใส่ น้ำไว้ที่ก้นโถพลาสติก ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทุกๆ 3 วัน โดยการใส่ NaOH 1.0 M จำนวน 100 ml เป็นสารดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ทำการตกตะกอนด้วย BaCl_2 0.5 M แล้วไตเตรทด้วย HCl 0.25 M ใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ การทดลองแสดง ดังรูป ที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทดลองวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณค่าก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกจากดินเขียนได้ดังสมการ

$$\text{mg CO}_2 = (B-V)(NE)$$

เมื่อ B คือ ปริมาตร (ml) ของกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรท blank

V คือ ปริมาตร (ml) ของกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายตัวอย่าง

N คือ จำนวน นอมอลิตีของกรด HCl หน่วยเป็น ml

E คือ ค่า equivalent weight ของคาร์บอนในรูป CO₂-C: E เท่ากับ 6 หรือในรูป CO₂:E เท่ากับ 12

2.6 ทำการทดสอบการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากการบ่มเหินแดง นำชุดการทดลองทั้งสามนำชุดการทดลองทั้ง 3 ไปบ่มในโถพลาสติกที่ปิดสนิท ที่ใส่น้ำไว้ที่ก้นโถพลาสติก โดยในแต่ละสัปดาห์ทำการแบ่งตัวอย่างดินในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์หา

อินทรีย์วัตถุ (OM) โดยวิธี Walkley and Black

pH โดย pH meter อัตราส่วน ดิน: น้ำ 1: 1

ไนโตรเจน โดยวิธี Kjeldahl method

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดด้วยน้ำยา Bray II วัดความเข้มด้วย Spectrophotometer

โพแทสเซียมที่สกัดได้ สกัดด้วย IN NH₄OAC pH 7.0 วัดด้วย Atomic absorption spectrophotometer

2.5 ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูล (ANOVA) ในแต่ละชุดการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS



ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มเลี้ยงสุกรใน อ.แม่ริม จ. เชียงใหม่ นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำทิ้ง ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งของฟาร์มสุกรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปร	ลักษณะของน้ำทิ้ง
pH	7.5
อุณหภูมิ	30° C
DO	0 mg/L
COD	920 mg/L
BOD	260 mg/L
NO ₃ ⁻	40 mg/L
NH ₄ ⁺	360 mg/L
SRP	260 mg/L

ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพของน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร แม้ว่าจะได้รับการบำบัดแล้วแต่ก็ยังมีค่าความเข้มข้นสูงมาก ทั้งในรูปของ COD และธาตุอาหารที่เป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งนับได้ว่ามีความเหมาะสมที่จะนำเอาสารอาหารที่หลงเหลือเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเลี้ยงแทนแฉะ เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและยังสามารถทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพที่ดีขึ้น

ตอนที่ 1 การทดสอบการเจริญของแทนแฉะและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งของแทนแฉะ

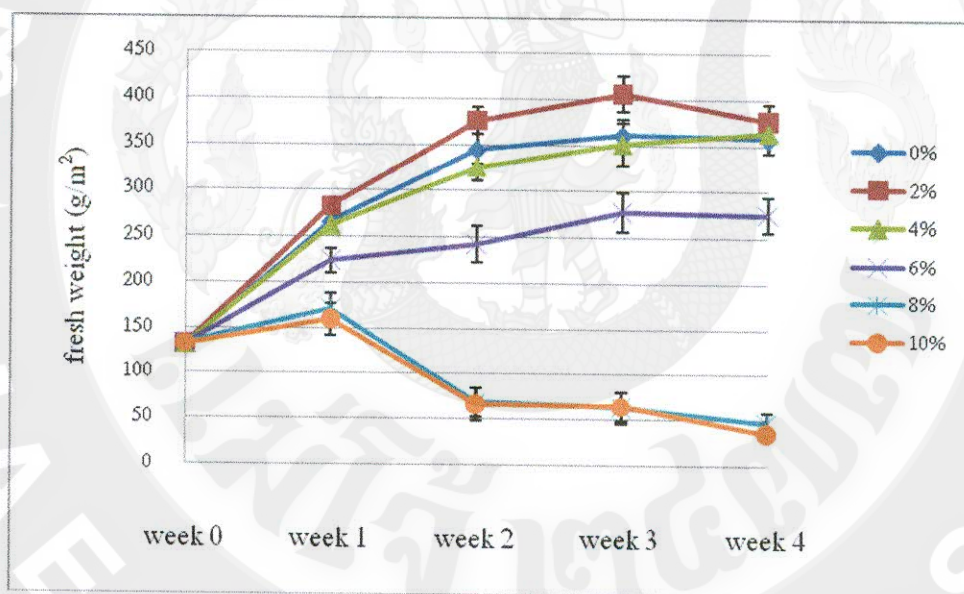
ทำการศึกษาระบบการทดลองออกเป็น ชุดควบคุม ไม่ใส่แทนแฉะ และชุดการทดลอง ใส่แทนแฉะ โดยแต่ละชุดใช้น้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 2% (น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร 2 ส่วน น้ำสะอาด 98 ส่วน) 0% 4% 6% 8% และ 10% ทำการศึกษาเป็นเวลา 1 เดือน ให้ผลการทดลองดังนี้

1.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของแทนแฉะที่เลี้ยงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกร

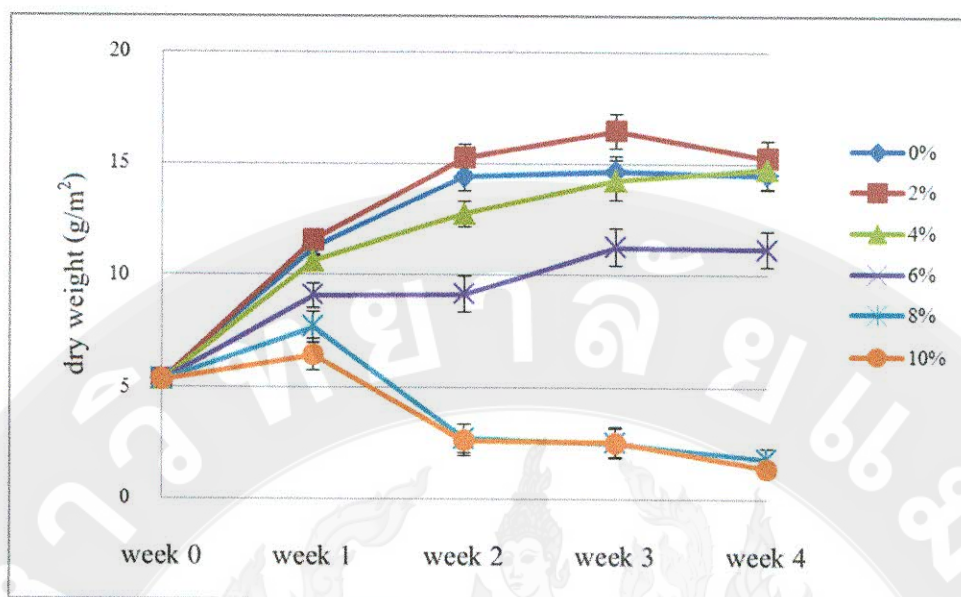
จากการศึกษาการเลี้ยงเหาแดงในชุดการทดลองที่ใส่เหาแดงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่างๆ เป็นเวลา 1 เดือน ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 จากผลการทดลองพบว่าเหาแดงให้ผลผลิตมากที่สุดในสัปดาห์ที่สามของการทดลองในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 2% และ 4% ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 6% ให้ผลผลิตมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 8%, และ 10% ให้ผลผลิตมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง โดยให้ปริมาณผลผลิตคิดเป็น น้ำหนักสดเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ $405.5 \pm 19.5 \text{ g/m}^2$ $363.7 \pm 22.9 \text{ g/m}^2$ $360.4 \pm 16.7 \text{ g/m}^2$ $276.9 \pm 20.9 \text{ g/m}^2$ $170.3 \pm 16.7 \text{ g/m}^2$ และ $65.9 \pm 17.6 \text{ g/m}^2$ ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% 4% 0% 6% 8%, และ 10% ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1 คิดเป็นผลผลิตของน้ำหนักแห้ง เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ $16.46 \pm 0.8 \text{ g/m}^2$ $14.77 \pm 0.94 \text{ g/m}^2$ $14.63 \pm 0.69 \text{ g/m}^2$ $11.24 \pm 0.84 \text{ g/m}^2$ $7.67 \pm 0.67 \text{ g/m}^2$ และ $6.47 \pm 0.69 \text{ g/m}^2$ ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% 4% 0% 6% 8%, และ 10% ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้งมีผลต่อการเจริญเติบโตของเหาแดงทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าจำนวนสัปดาห์ในการเพาะเลี้ยงมีผลต่อการเจริญเติบโตของเหาแดงทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาพบว่าเหาแดงสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร และเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งในระดับความเข้มข้น 0% 2% และ 4% โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงระยะเวลา 2 สัปดาห์แรก โดยในสัปดาห์แรกจะมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.110 d^{-1} รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% และ 4% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.106 d^{-1} และ 0.098 d^{-1} ตามลำดับ และจะมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยลงหลังจากสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง คือ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.039 d^{-1} 0.036 d^{-1} และ 0.026 d^{-1} ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% 0% และ 4% ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 6% 8%, และ 10% นั้นเหาแดงเจริญเติบโตได้ดีเฉพาะในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลองเท่านั้น โดยมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.076 d^{-1} 0.052 d^{-1} และ 0.028 d^{-1} ตามลำดับ หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 6% เหาแดงหยุดการเจริญ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเป็น 0 ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 8%, และ

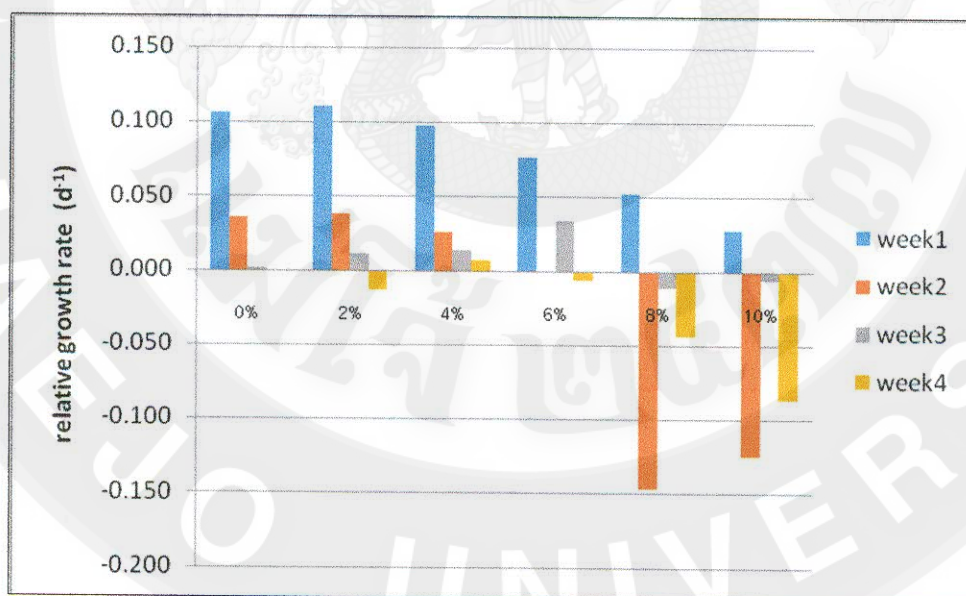
10% เกิดการตายของเห่นแดงขึ้น ทำให้อัตราการเจริญจำเพาะของเห่นแดงมีค่าเป็นลบ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไปในสัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเห่นแดงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงๆ มีอัตราการเจริญต่ำ และมีการตายเกิดขึ้นในช่วงปลายของการทดลอง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มปริมาณเห่นแดงเป็น 2 เท่า (doubling time) พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0% 2%, และ 4% มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณของเห่นแดงเพิ่มเป็น 2 เท่าที่ระยะเวลา 4-5 วัน โดยมีค่าต่ำสุดคือ 4.25 วัน ที่ระดับ 2% ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 6% 8%, และ 10% นั้นเห่นแดงมีอัตราการเจริญจำเพาะที่ต่ำ ทำให้การเพิ่มปริมาณเห่นแดงเป็น 2 เท่า นั้นใช้เวลาก่อนข้างนาน จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้น เห่นแดงมีอัตราการเจริญที่น้อยลงและมีการตายเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น



รูปที่ 4.1 การเจริญของเห่นแดงแสดงด้วยน้ำหนักสด ในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



รูปที่ 4.2 การเจริญของเหนแดงแสดงด้วยน้ำหนักแห้ง ในน้ำที่จกฟาร์มสุกระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



รูปที่ 4.3 อัตราการเจริญจำเพาะของเหนแดง ในน้ำที่จกฟาร์มสุกระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.2 ผลผลิตและการเจริญของเห็ดนางฟ้าในระดับในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

Dilution (%)	Maximum wet weight (g/m ⁻²)	Maximum dry weight (g/m ⁻²)	REG (d ⁻¹)	Doubling time (days)
0	360.4	1.33	0.106	4.45
2	405.5	1.50	0.110	4.25
4	363.7	1.34	0.098	4.97
6	276.9	1.02	0.076	7.06
8	170.3	0.7	0.052	11.31
10	159.3	0.59	0.028	23.52

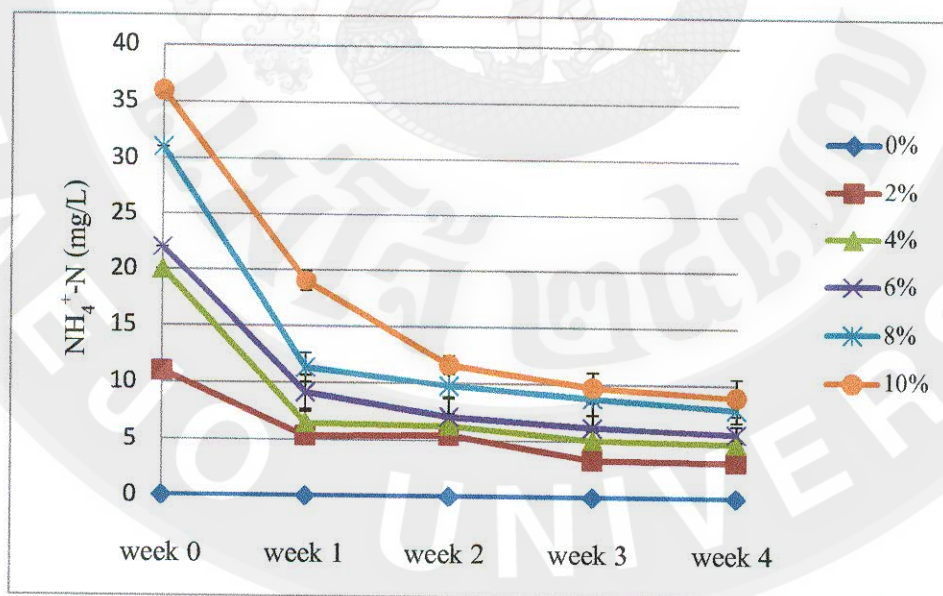
1.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เห็ดนางฟ้าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ต่างๆ กัน

จากการศึกษาการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ต่อประสิทธิภาพของเห็ดนางฟ้าในการบำบัดน้ำทิ้ง พบว่า เห็ดนางฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งดังนี้

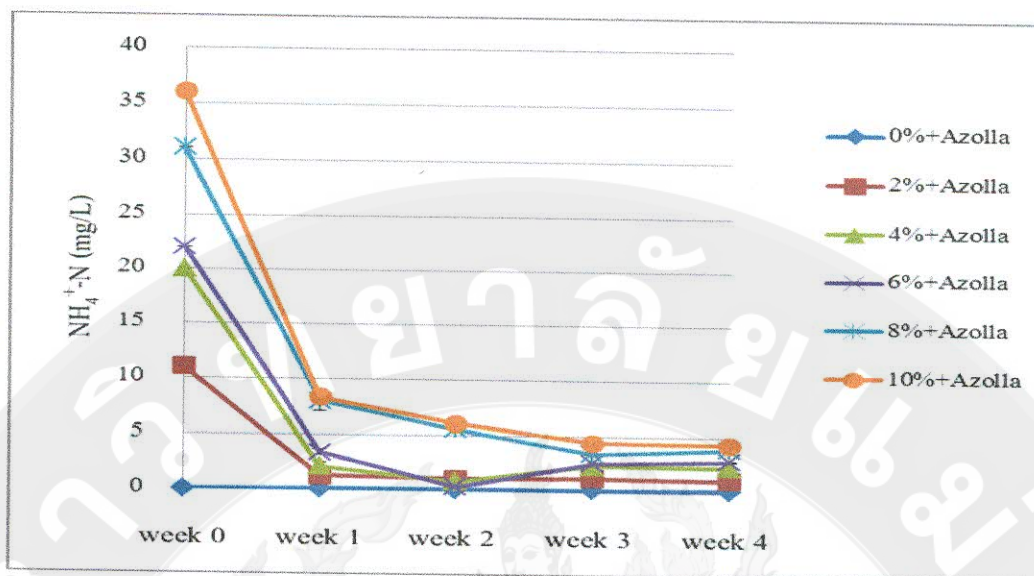
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen, NH₄⁺-N)

จากการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เมื่อเริ่มต้นการทดลองจะมีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากน้ำทิ้งที่ออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร มีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนค่อนข้างสูง ในระยะสัปดาห์แรกของการทดลองพบว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจนในทุกๆระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียได้ 70-76 เปอร์เซ็นต์ ในชุดการทดลองที่ไม่มีเห็ดนางฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากแอมโมเนีย-

ไนโตรเจนในแหล่งน้ำเหล่านี้สามารถฟื้นตัวได้ตามธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์เซลล์ของแบคทีเรีย ฟิชน้ำและสาหร่ายที่อยู่ในแหล่งน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมโดยพืช หรือถูกกำจัดออกจากแหล่งน้ำในรูปของก๊าซแอมโมเนียด้วยการระเหย (volatilization) ในกรณีที่ pH มากกว่า 7 (Metcalf & Eddy, 2003) นอกจากนี้ยังเกิดขบวนการ nitrification ด้วยแบคทีเรีย ซึ่งทำให้ แอมโมเนีย เปลี่ยนไปเป็น ไนเตรตและไนไตรต์ อย่างไรก็ตามพบว่าในชุดการทดลองที่มีแผนแดง ระบบมีการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดีกว่า โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระบบที่มีแผนแดงสามารถกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้มากกว่า 90% ในระดับความเข้มข้น 2% 4% และ 6% แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบพบว่าปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของทั้งสองชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีแผนแดงและชุดการทดลองที่มีแผนแดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับความเข้มข้นของน้ำทั้งมีผลต่อปริมาณแอมโมเนียอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ระยะเวลาในการทดลองมีผลต่อปริมาณแอมโมเนียอย่างไม่มีนัยสำคัญสถิติ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทั้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

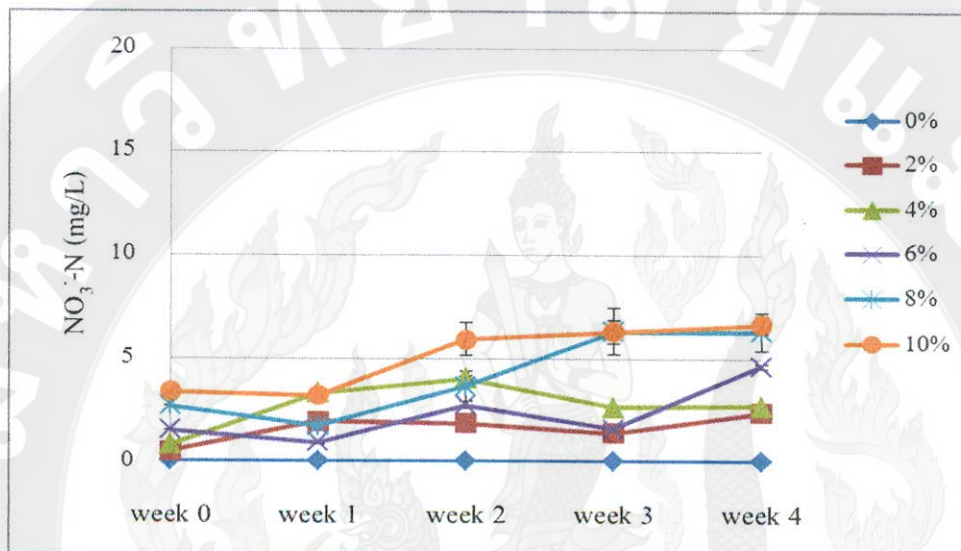


รูปที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงแหนแดง

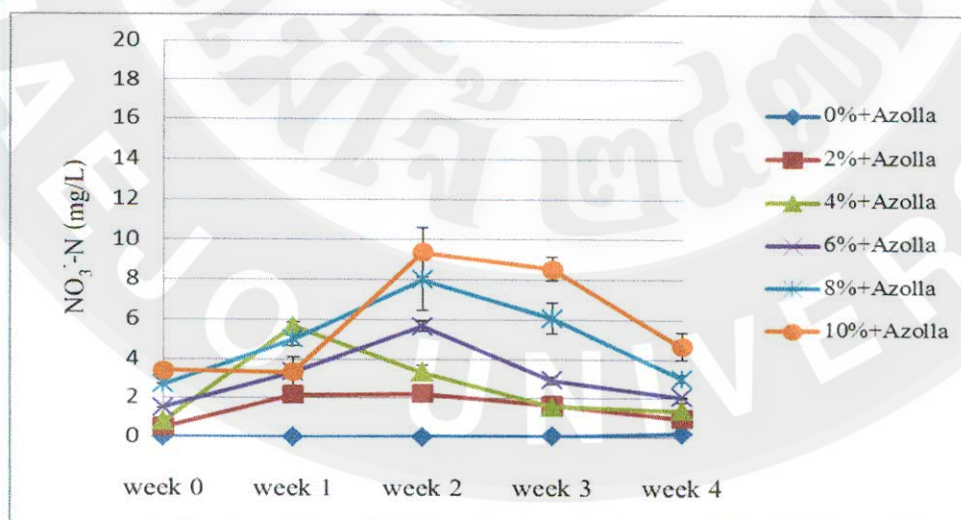
ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate- nitrogen, NO_3^- -N)

จากการทดลองพบว่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในการทดลองชุดควบคุม (ไม่มีแหนแดง) ในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งนั้น จะมีค่าน้อยในระยะเริ่มแรกและจะมีมากขึ้นในทุกระยะของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนรูปกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรท ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีแหนแดงพบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงๆ คือ 6% 8% และ 10% ในขณะที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่ำ คือ 2% มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าไนเตรท-ไนโตรเจน นั้นถูกดูดซึมโดยแหนแดงได้น้อยมาก ทำให้พบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในน้ำค่อนข้างสูง เนื่องจากโดยปกติแล้วแหนแดงได้รับไนโตรเจนผ่านการสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยเฉพาะสาหร่าย *Anabaena* sp. ที่อาศัยอยู่ในโพรงใบอยู่แล้ว ทำให้มีการดูดซึมไนโตรเจนจากน้ำทิ้งได้ในปริมาณที่น้อย โดยทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนโดยเฉลี่ยประมาณ 0.3 mg/L นอกจากนี้ไนโตรเจนสามารถสะสมหรือตกตะกอนอยู่ก้นบ่อ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณของ ไนเตรท-ไนโตรเจน ลดลงในสัปดาห์ท้ายๆ ของการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบพบว่าปริมาณของ

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนของทั้งสองชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีแห่นางและชุดการทดลองที่มีแห่นางมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาในการทดลองมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7



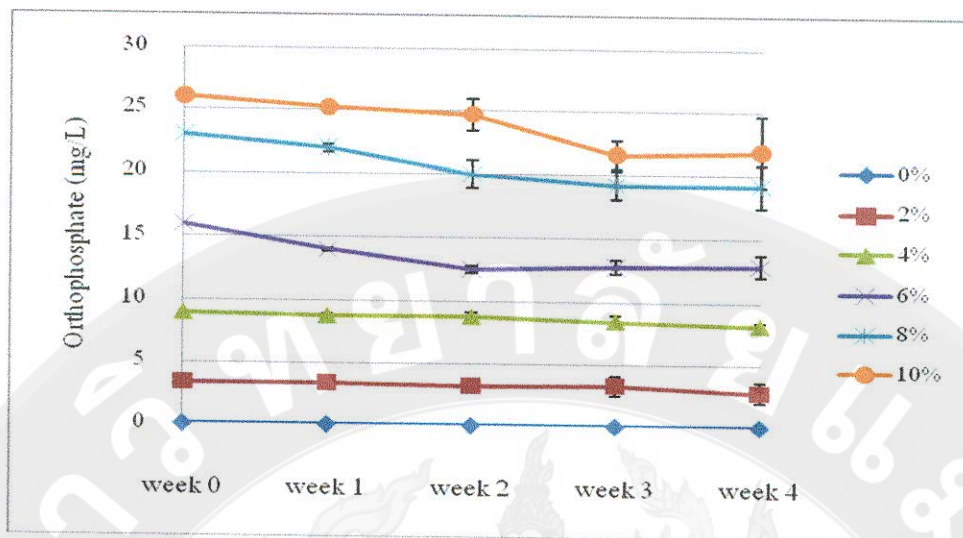
รูปที่ 4.6 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



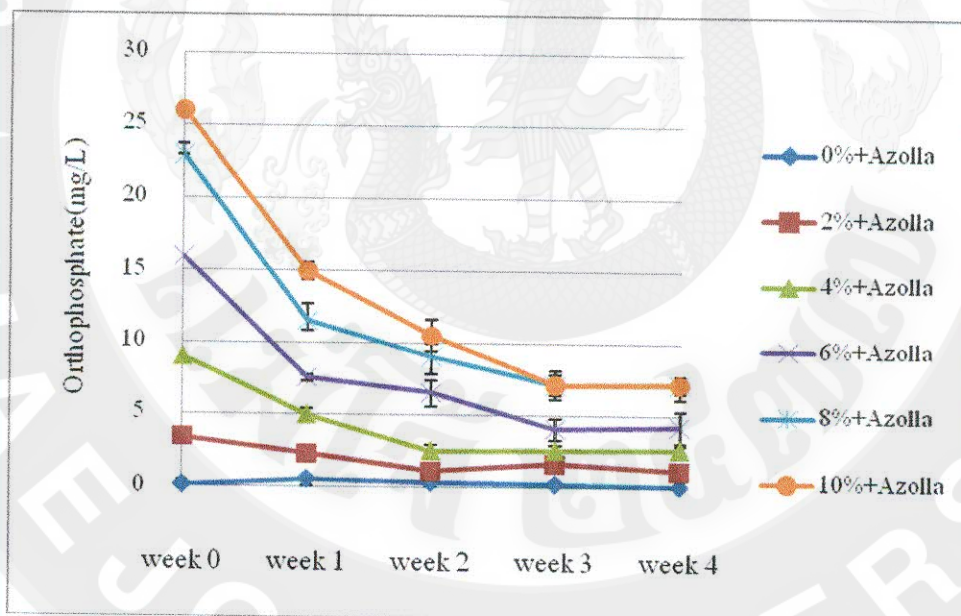
รูปที่ 4.7 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงแห่นาง

ฟอสฟอรัส (Soluble reactive phosphorus)

จากการทดลองเมื่อพิจารณาถึง Soluble reactive phosphorus (SRP) หรือ Orthophosphate พบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงແໜແຈງ โดยน้ำทิ้งสามารถมีคุณภาพที่ดีขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยทุกชุดการทดลองจะมีประสิทธิภาพลดปริมาณฟอสฟอรัสได้ไม่เกิน 20% ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.8 ในขณะที่ในชุดการทดลองที่เพาะเลี้ยงແໜແຈງ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของฟอสฟอรัสได้มากกว่า โดยมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากกว่า 65% ในทุกการทดลอง และมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ระดับน้ำทิ้งที่ 6% มีประสิทธิภาพ การลดปริมาณฟอสฟอรัสได้ 74.8% ในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง ผลการทดสอบพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสของทั้งสองชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีແໜແຈງและชุดการทดลองที่มีແໜແຈງมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาในการทดลองมีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.9 การที่ชุดควบคุมพบว่าทุกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสได้ไม่ดึ้นเนื่องจากไม่มีพืชช่วยในการดูดซับ การลดลงของฟอสฟอรัสจึงเกิดได้จากการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว อีกทั้งในน้ำทิ้งมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถตกตะกอนลงไปได้มากนัก ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่หลงเหลืออยู่ในระบบมาก ในขณะที่ชุดทดลองที่มีແໜແຈງนั้นเนื่องจากฟอสฟอรัส ที่มากับน้ำเมื่อเข้าสู่ระบบ บางส่วนจะถูกดูดซึมโดยແໜແຈງ แต่ส่วนมากฟอสฟอรัสมักจะจมอยู่ก้นบ่อ และเป็นกลายเป็นตะกอนซึ่งจะสะสมอยู่ก้นบ่อ



รูปที่ 4.8 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

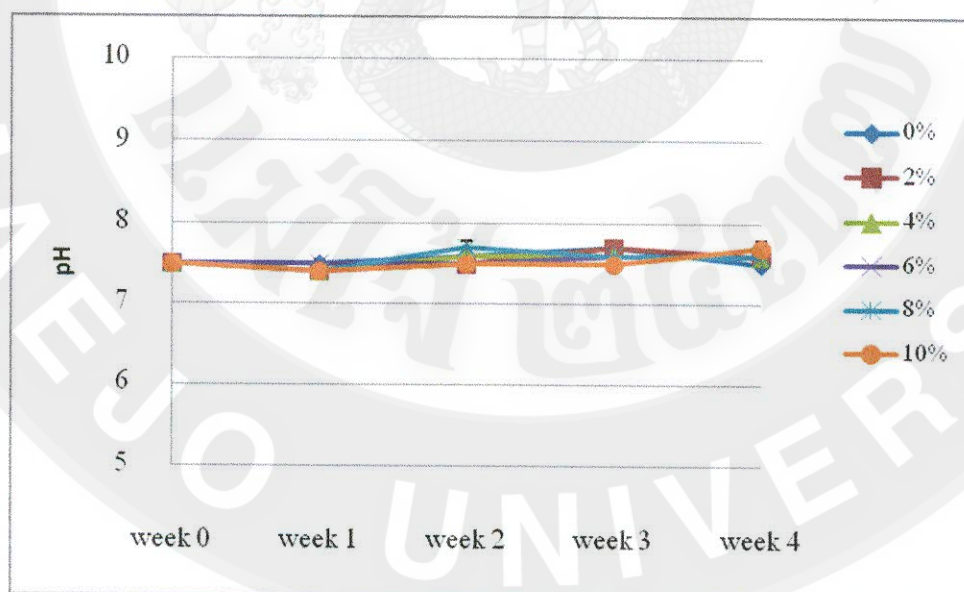


รูปที่ 4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดแดง

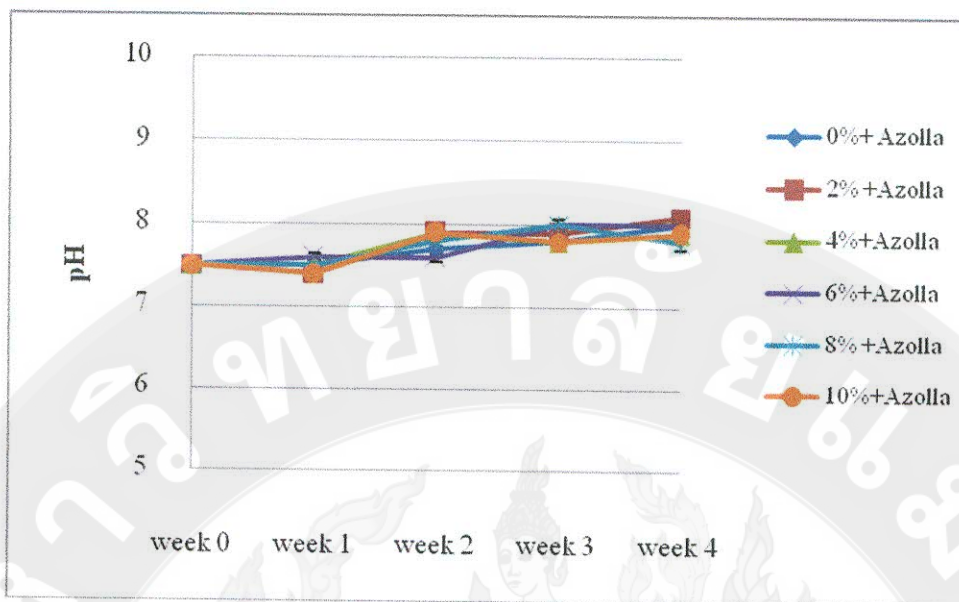
pH

จากการทดลองพบว่า ตลอดระยะเวลาของการทดลอง ชุดควบคุมที่ไม่มีเห็ดแดงจะมีค่า pH ของน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่า pH ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 7.5-7.7 ในขณะที่

ชุดการทดลองเลี้ยงสาหร่ายนั้นพบว่าแต่ละการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งนั้นมีค่า pH ไม่แตกต่างกัน แต่จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายเล็กน้อย โดยมีค่า pH ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 7.5-8.1 ผลการทดลองพบว่าค่า pH ของทั้งสองชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีเห็ดและชุดการทดลองที่มีเห็ดแดงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งไม่ทำให้ค่า pH ของชุดทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะเวลาที่มีผลทำให้ค่า pH ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.10 และ 4.11 จากการทดลองพบว่าระดับ pH ในการทดลองนี้อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และพืชน้ำ โดยแบคทีเรียในครีฟายด์ เจริญเติบโตและทำงานได้ดีเมื่อคืนมี pH เป็นกลางหรือด่างอ่อน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้จุลินทรีย์ที่เกาะติดกับรากของเห็ดแดงหรือเศษซากที่พื้นท้องน้ำสามารถทำงานได้ดี นอกจากนี้ในระบบที่มีพืชจะช่วยทำให้ระบบมีค่า pH ที่สูงขึ้น เนื่องจากการนำไนเตรทและ ไนไตรท์เข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายและพืชโดยขบวนการสังเคราะห์แสงนั้น ก็จะทำให้ค่า pH สูงขึ้นได้



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

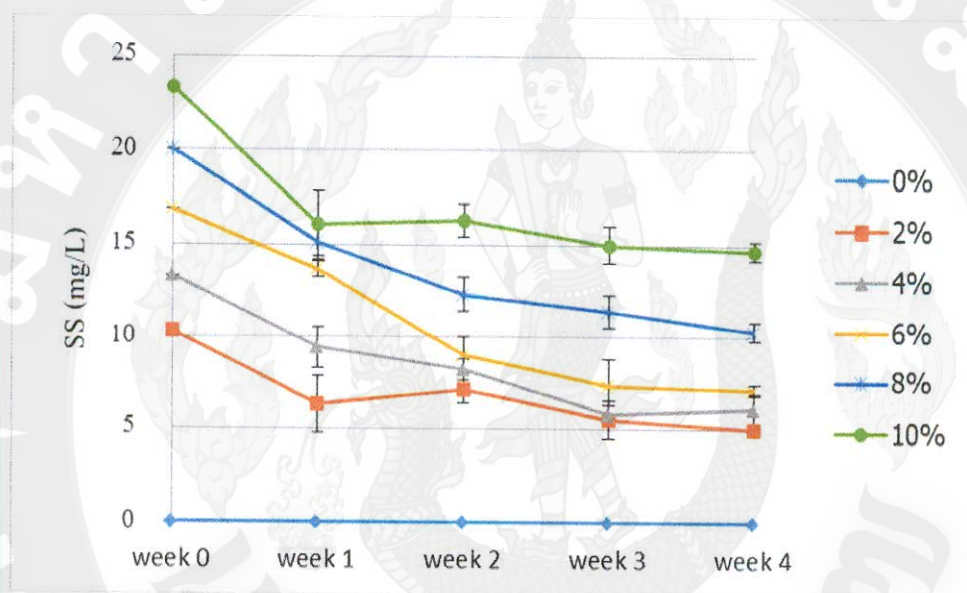


รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลง pH น้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า

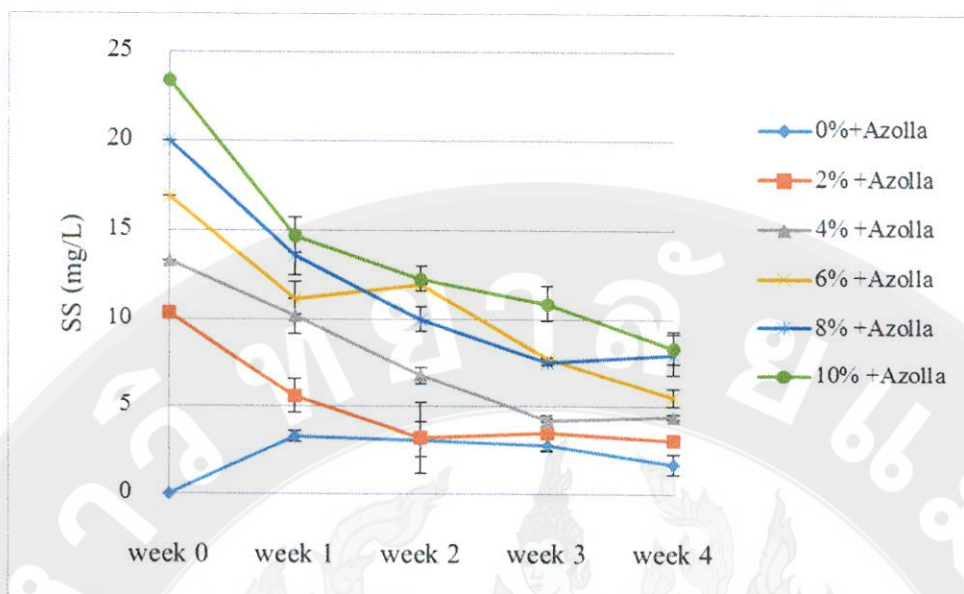
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS)

ของแข็งแขวนลอย (SS) นั้นเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในชุดควบคุมที่ไม่มีเห็ดนางฟ้านั้นมีค่าลดลงมากในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลอง หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2%, 4% และ 6% ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงได้มากกว่า 60% ในขณะที่ ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 8%, 10% ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงได้มากกว่า 50% ส่วนเมื่อพิจารณาถึงชุดการทดลองที่มีเห็ดนางฟ้าพบว่าในสัปดาห์แรกของการทดลองลดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย จะลดลงมาก และจะค่อยๆ ลงอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ต่อไปตลอดการทดลอง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2%, 4% และ 6% ปริมาณของแข็งแขวนลอย ลดลงได้มากกว่า 65% ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 8%, 10% ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงได้มากกว่า 60% ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าของแข็งแขวนลอย เริ่มแรกในน้ำทิ้งมีไม่มากนักและระยะเวลาที่ผ่านไปสามารถทำให้ชุดควบคุมลดปริมาณค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งลงได้ แต่เมื่อมีเห็ดนางฟ้าก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดของของแข็งแขวนลอย มีมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่า

ปริมาณของแข็งแขวนลอยของทั้งสองชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีเหินแดงและชุดการทดลองที่มีเหินแดงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งไม่ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะเวลาที่มีผลทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

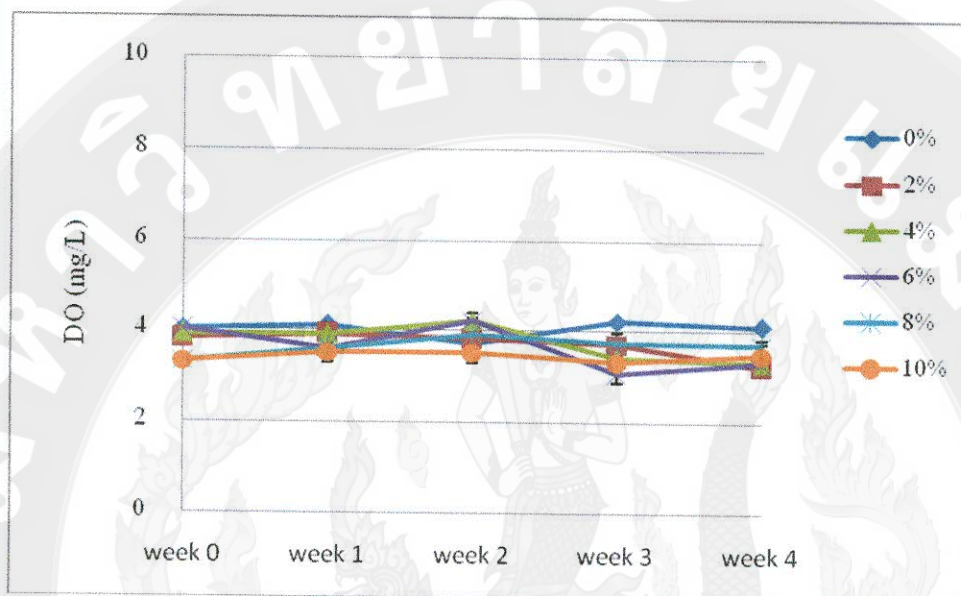


รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงแหนแดง

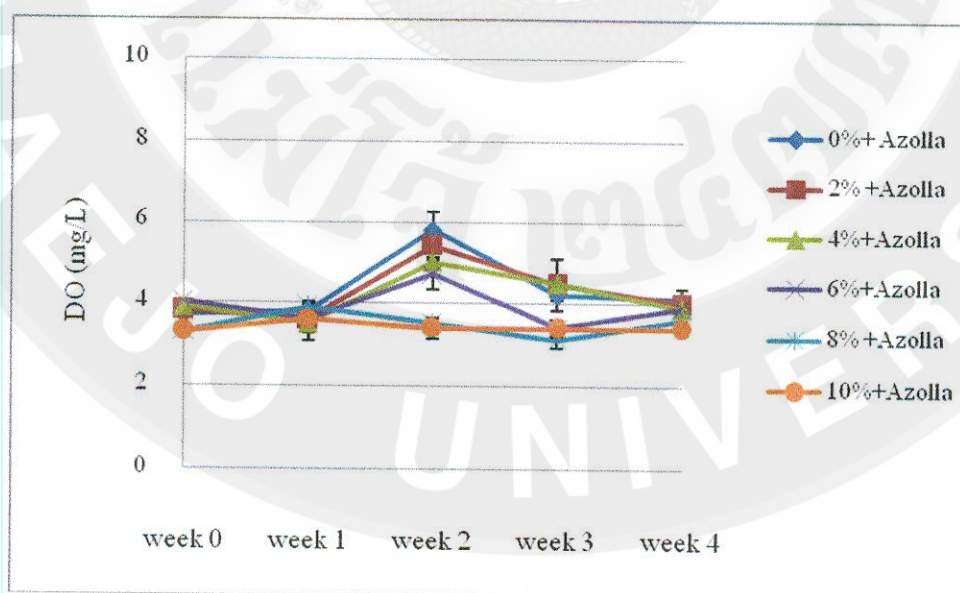
ออกซิเจนละลาย (DO)

จากการทดลองพบว่าค่าของออกซิเจนละลาย ในชุดควบคุมที่ไม่มีแหนแดงนั้น ตลอดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.5 mg/L ถึง 4.2 mg/L ส่วนในชุดการทดลองที่มีแหนแดงนั้นพบว่าค่าออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 3.5-5.8 และในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองนั้นค่าของออกซิเจนละลายมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากแหนแดงมีการเจริญเติบโตและมีการใช้สารอาหารในระบบค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการทดลองนั้น ค่าออกซิเจนละลายจะมีค่าลดลงในทุกระดับของความเข้มข้นของน้ำทิ้ง เนื่องจากในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ระดับ 0%, 2% และ 4% นั้นแหนแดงมีการเจริญเติบโตจนเต็มอ่างดินเผา ซึ่งอาจทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่สามารถละลายลงไปในน้ำได้และในสัปดาห์ที่ 4 นั้นแหนแดงเริ่มเจริญน้อยลงและอาจมีบางส่วนที่ตายลงในขณะที่ ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 8%, 10% นั้นพบว่าแหนแดงเจริญได้น้อยและมีการตายของแหนแดงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จึงทำให้ค่า DO ลดลง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่า DO ของทั้งสองชุดการทดลองคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีแหนแดงและชุดการทดลองที่มีแหนแดง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับความเข้มข้น

ของน้ำทิ้งไม่ทำให้ค่า DO ของชุดทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะเวลามีผลทำให้ค่า DO ในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15



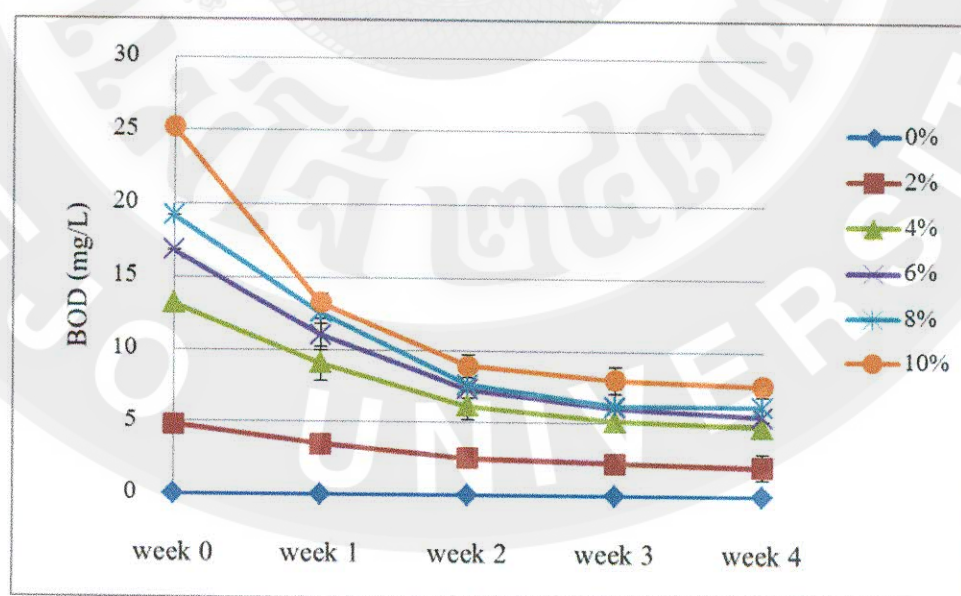
รูปที่ 4.14 ปริมาณของออกซิเจนละลายของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



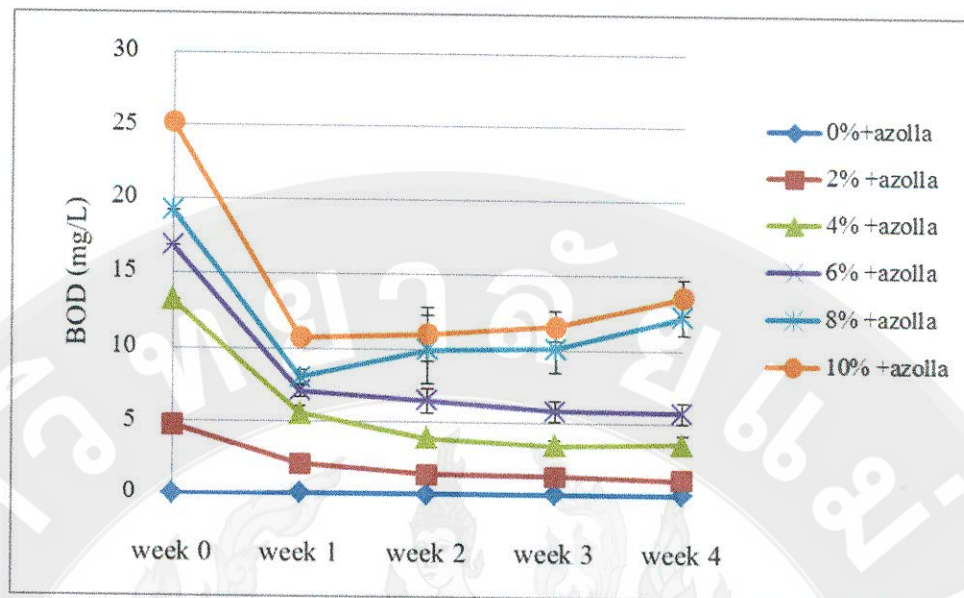
รูปที่ 4.15 ปริมาณของออกซิเจนละลายของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยง
ແທນແດງ

บีโอดี (BOD)

ในชุดการทดลองควบคุมพบว่าค่า BOD มีค่าลดลงในสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองอย่างรวดเร็ว แต่ในสัปดาห์ต่อมา พบว่า ค่า BOD ลดลงเพียงเล็กน้อย โดยการทดลองที่มีระดับน้ำทิ้ง 10% จะมีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ได้มากที่สุดโดยสามารถลดค่า BOD ได้ถึง 69.7% ในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง ส่วนในชุดการทดลองที่มีแหนแดง พบว่า ในสัปดาห์แรกของการทดลองค่า BOD มีค่าลดลงในทุกชุดการทดลองที่มีแหนแดง โดยที่มีระดับน้ำทิ้ง 2% จะมีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ได้มากที่สุดโดยสามารถลดค่า BOD ได้ถึง 76.66% ในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง ในขณะที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ระดับ 8% และ 10% BOD จะมีค่าเริ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแหนแดงเริ่มมีการตายหรือเกิดการหลุดร่วงในส่วนของใบและรากเกิดขึ้น ทำให้เกิดสารอินทรีย์ขึ้นในน้ำ แต่จะไม่ถึงขั้นที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย เพราะส่วนมากจะเกิดการตกตะกอนและจมลงสู่ก้นบ่อ และถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย ซึ่งแหนแดงสามารถนำธาตุอาหารเหล่านี้กลับไปใช้ในการเจริญได้ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17



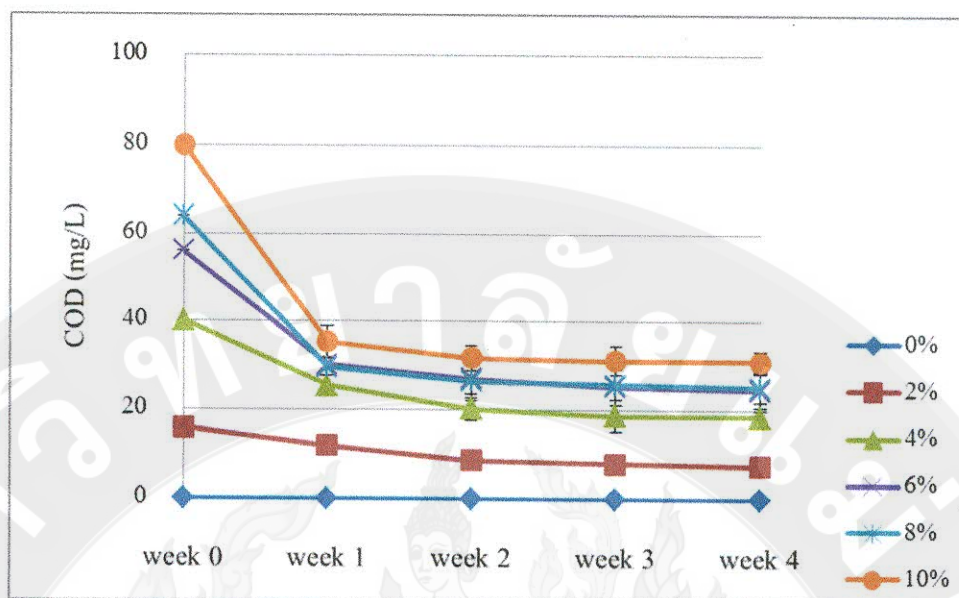
รูปที่ 4.16 ปริมาณ BOD ของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



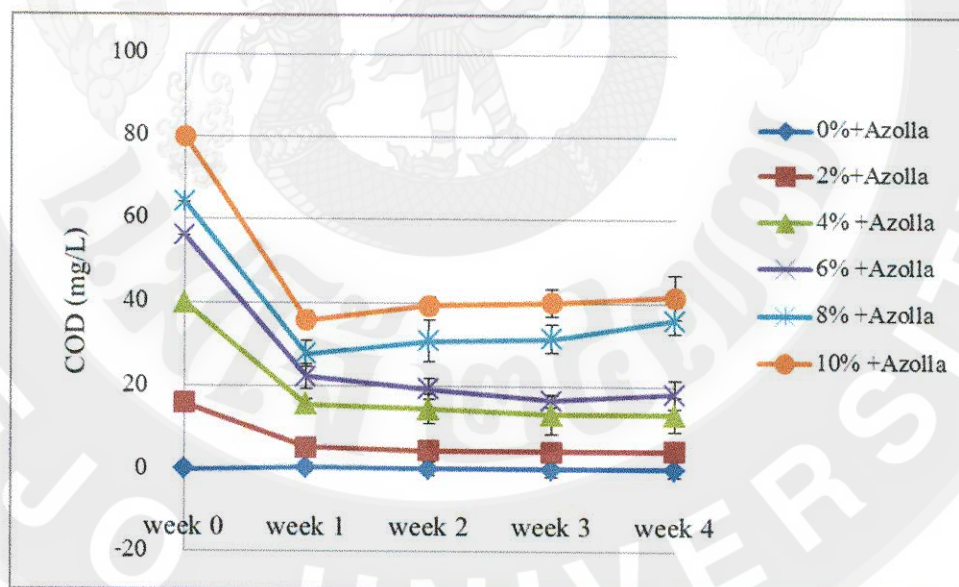
รูปที่ 4.17 ปริมาณ BOD ของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงแหนแดง

ซีโอดี (COD)

จากการทดลองพบว่าค่า COD ในชุดควบคุมที่ไม่มีแหนแดงนั้นจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์แรกของการทดลองและค่อยลดลงเรื่อยๆ ตลอดการทดลอง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าทุกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง มีประสิทธิภาพลดปริมาณ COD ได้มากกว่า 50% ส่วนเมื่อพิจารณาถึงชุดการทดลองที่มีแหนแดงพบว่า COD จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์แรกของการทดลองเช่นกันและจะค่อยๆ ลดลงตลอดการทดลอง แต่ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 8% และ 10% จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้ง 2% มีประสิทธิภาพในการลดค่า COD ได้มากที่สุด 71.37% .ในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง จากผลการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพในการลดปริมาณ COD ของระบบจะอยู่ในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลอง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 โดยค่า COD ที่สูงขึ้นในช่วงท้ายของการทดลองเกิดจากการตายของแหนแดงหรือจากการหลุดร่วงของใบและราก โดยเฉพาะแหนแดงที่เลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงๆ



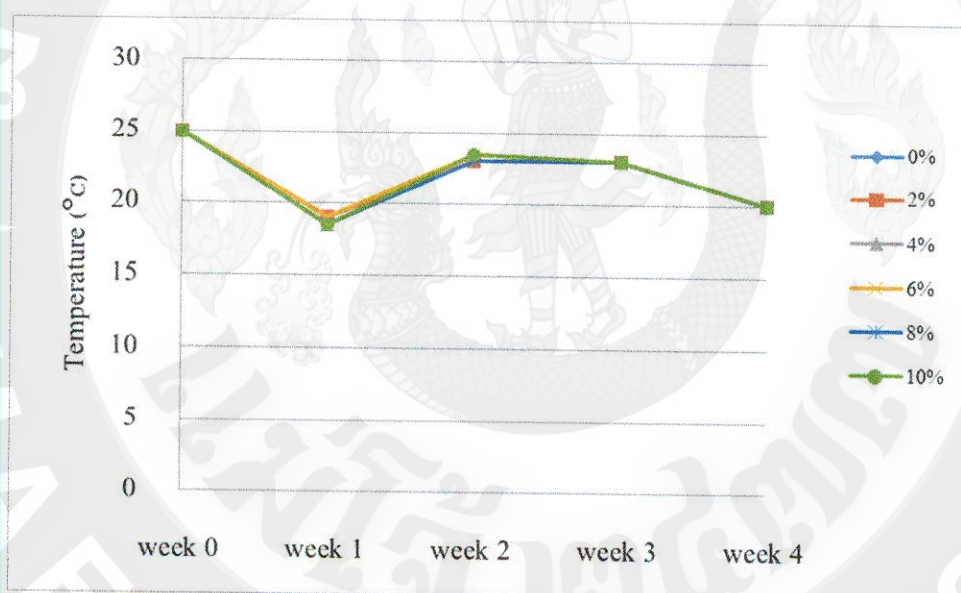
รูปที่ 4.18 ปริมาณ COD ของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



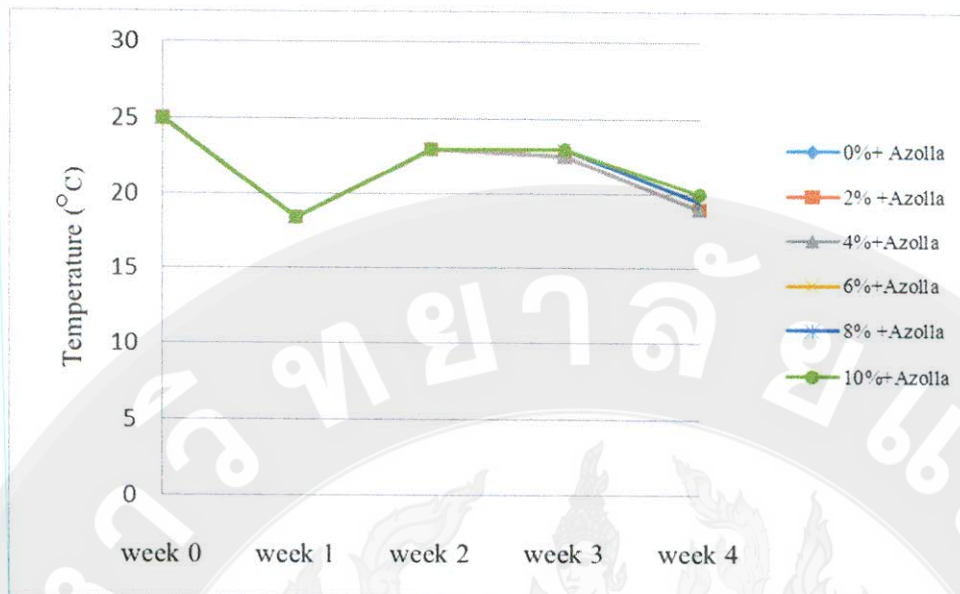
รูปที่ 4.19 ปริมาณ COD ของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงแหนแดง

การวิเคราะห์อุณหภูมิ °C

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิ โดยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์พบว่าค่าอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ค่าอุณหภูมิในชุดทดลองจะอยู่ในช่วง 18.5-23.5 °C และชุดควบคุมจะมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 18.5-23 °C เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองพบว่า จะไม่มีค่าแตกต่างกันตลอดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากกราฟระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง ชุดควบคุมพบว่ามีค่าสูงกว่าชุดทดลองเล็กน้อย เมื่อนำไปคำนวณด้วยโปรแกรม spss ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการทดลองของชุดควบคุมไม่มีแผนแดงและชุดทดลองที่มีแผนแดงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.20 ระดับอุณหภูมิของน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



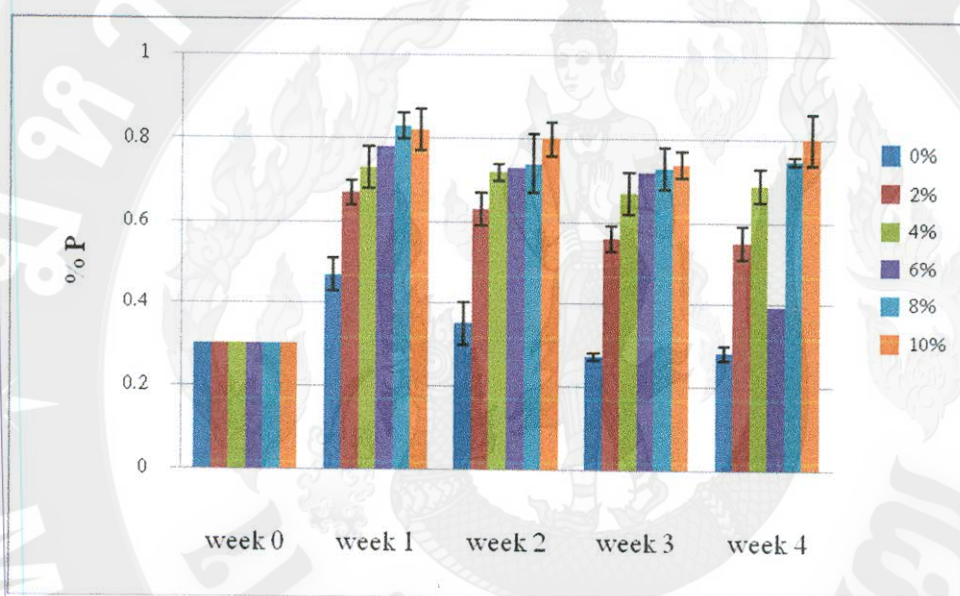
รูปที่ 4.21 ระดับอุณหภูมิของน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กันที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดแดง

1.3 การศึกษาการสะสมธาตุอาหารของเห็ดแดงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากฟาร์มสุกร

ในการศึกษาเลี้ยงเห็ดแดงในน้ำทิ้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยได้ทำการศึกษาการสะสมของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของเห็ดแดงในทุกสัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงขึ้น ทำให้เห็ดแดงสามารถดูดซับและสะสมธาตุอาหารไว้ในเนื้อเยื่อได้มากขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงมากขึ้น เห็ดแดงจะมีการสะสมฟอสฟอรัสจนทำให้มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อมากขึ้น และจากการทดลองพบว่าในสัปดาห์แรกของการเพาะเลี้ยงจะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้น จาก 0.3% จากเริ่มต้น เป็น 0.47% 0.67% 0.73% 0.78% 0.83% และ 0.82% ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 2% 4% 6% 8% และ 10% ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 1 ของการเพาะเลี้ยง หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่พบในเนื้อเยื่อของเห็ดแดงจะลดลง โดยในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.28% 0.55% 0.69% 0.39% 0.75% และ 0.82% ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 2% 4% 6% 8% และ 10% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเห็ดแดงมี

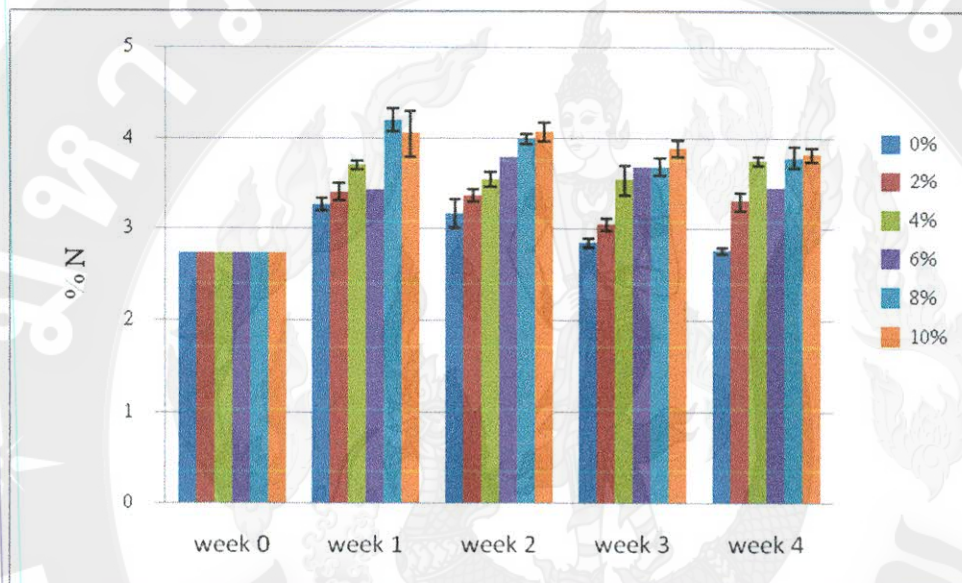
การสะสมฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 0.1 g/m^2 เท่ากันในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% และ 4% ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 6% 8% และ 10% มีการสะสมฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 0.05 g/m^2 0.08 g/m^2 0.06 g/m^2 และ 0.05 g/m^2 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้งและจำนวนสัปดาห์ของการเพาะเลี้ยงนั้นพบว่า มีผลต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในແຜ່ນແດງอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยในระดับน้ำทิ้ง 8% และ 10% พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในແຜ່ນແດງไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในແຜ່ນແດງในช่วงเวลาการเพาะเลี้ยง 1 เดือน

เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของของไนโตรเจน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงมากขึ้น แผลงจะมีการสะสมไนโตรเจนจนมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อได้มากขึ้น และจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในสัปดาห์แรกจะเพิ่มสูงขึ้น โดยมีไนโตรเจนในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น จาก 2.73% จากเริ่มต้น เป็น 3.26% 3.4% 3.7% 3.42% 4.2% และ 4.05% ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 2% 4% 6% 8% และ 10% ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 1 ของการเพาะเลี้ยง หลังจากนั้นพบว่าไนโตรเจนที่พบในเนื้อเยื่อของແຜ່ນແດງจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองมีความเข้มข้นของไนโตรเจน 2.76% 3.29% 3.74% 3.44% 3.78% และ 3.81% ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 2% 4% 6% 8%

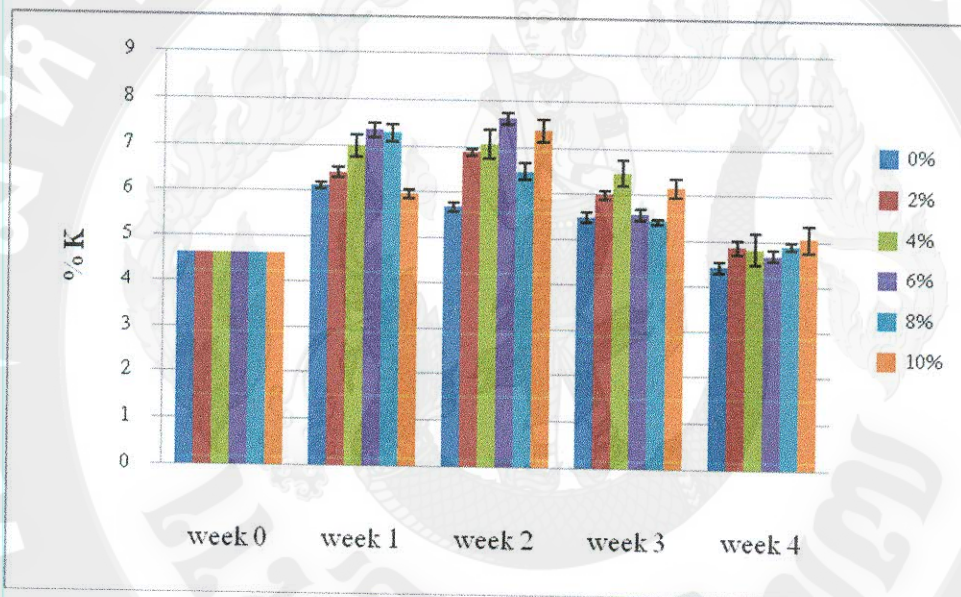
และ 10% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า แหนแดงมีการสะสมไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 0.55 g/m^2 ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 4% รองลงมาได้แก่ 0.51 g/m^2 0.46 g/m^2 0.41 g/m^2 0.32 g/m^2 และ 0.26 g/m^2 ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 2% 6% 8% และ 10% ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้งและจำนวนสัปดาห์ของการเพาะเลี้ยงนั้นพบว่า มีผลต่อการสะสมธาตุไนโตรเจนในแหนแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ปริมาณไนโตรเจนในแหนแดงในช่วงเวลาการเพาะเลี้ยง 1 เดือน

เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของโพแทสเซียมพบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงมากขึ้น แหนแดงจะมีการสะสมโพแทสเซียมจนทำให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อได้มากขึ้น จากการทดลองพบว่าในสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่ 2 ของการเพาะเลี้ยงจะมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อมาก โดยเพิ่มขึ้น จาก 4.6% จากเริ่มต้น เป็น 6.11% 6.41% 6.99% 7.31% 7.26% และ 5.94% ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0% 2% 4% 6% 8% และ 10% ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 1 ของการเพาะเลี้ยง หลังจากสัปดาห์ที่ 2 พบว่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่พบในเนื้อเยื่อของแหนแดงจะลดลง โดยในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 4.41% 4.86% 4.82% 4.68% 4.9% และ 5.05% ในระดับความเข้มข้น

ของน้ำทิ้ง 0% 2% 4% 6% 8% และ 10% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า แหนแดงมีการสะสมโพแทสเซียมสูงสุดเท่ากับ 0.92 g/m^2 ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% รองลงมาได้แก่ 0.92 g/m^2 0.82 g/m^2 0.69 g/m^2 0.56 g/m^2 และ 0.38 g/m^2 ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 4% 0% 6% 8% และ 10% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้ง มีผลต่อการสะสมโพแทสเซียมในแหนแดงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่จำนวนสัปดาห์ของการเพาะเลี้ยง มีผลต่อการสะสมโพแทสเซียมในแหนแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ปริมาณโพแทสเซียมในแหนแดงในช่วงเวลาการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์

จากผลการทดลองพบว่า แหนแดงซึ่งมีช่วงการเจริญเติบโตประมาณ 2 สัปดาห์นั้น ในช่วงแรกของการเจริญ แหนแดงจะมีการดูดซับสารอาหารต่างๆ เพื่อใช้ในการเจริญ ทำให้เกิดการสะสมของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อค่อนข้างมาก แต่หลังจากนั้นปริมาณธาตุอาหารจะค่อยๆ ลดลงเมื่ออายุของแหนแดงมากขึ้น ตามลำดับ ดังนั้นในการนำแหนแดงไปใช้สำหรับการทำเป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดินนั้น ควรใช้แหนแดงที่มีอายุประมาณ 1-2 สัปดาห์ เนื่องจากจะมีธาตุอาหารสะสมอยู่มากที่สุด

2. การทดสอบประสิทธิภาพของແໜແຈງเพื่อทำเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

จากผลการทดลองพบว่าແໜແຈງที่ใช้ในการทำเป็นวัสดุปรับปรุงดินในการทดลองครั้งนี้เป็นແໜແຈງที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% อายุของແໜແຈງคือ 2 สัปดาห์ ซึ่งคุณสมบัติของແໜແຈງที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแสดงในตารางที่ 4.3 โดยมีค่า ไนโตรเจน 3.53% ฟอสฟอรัส 0.87% โพแทสเซียม 7.43 % และ C/N 12.49 สำหรับดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินในชุดดินสันทราย (Sai) ซึ่งจากการวิเคราะห์มีคุณสมบัติดังนี้ มีความเป็นกรดต่ำ (pH) 7.16 มีอินทรีย์วัตถุ (% OM) 1.25% ไนโตรเจน (%N) 0.063% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available-P) 0.40 % โพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable forms-K) 0.49 % โดยลักษณะที่พบของดินสันทรายพบว่าเป็นดินร่วนหยาบ ลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำเนือหยาบ ปฏิกริยาเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำเร็วถึงค่อนข้างเร็ว และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และเมื่อใช้ແໜແຈງอายุ 2 สัปดาห์ ที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% มาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งแต่ละชุดทดลองมีคุณสมบัติเบื้องต้น แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 สมบัติของແໜແຈງใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	Total-N (%)	Total-P (%)	Total-K (%)	C/N
ແໜແຈງ	3.53	0.87	7.43	12.49

ตารางที่ 4.4 สมบัติของดินชุดสันทราย (Sai) และวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ไนโตรเจน (%)	Available-P (%)	Extractable forms-K (%)	C/N
ดินชุดสันทราย	0.063	0.40	0.49	54.29
ดิน+ແໜ 0.5 g	0.068	0.50	1.69	17.71
ดิน+ ແໜ 1 g	0.081	0.69	3.53	14.05

จากตารางพบว่าແໜແຈງช่วยให้อินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้น และพบว่าช่วยทำให้สัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) มีค่าลดลง ซึ่งอัตราส่วน C:N ของวัสดุอินทรีย์ที่มีการใส่ແໜແຈງที่ 0.5 g และ 1 g ต่อดิน 100 g นี้มีความเหมาะสมทำให้เกิดการ immobilization ลดต่ำกว่า mineralization ทำให้สารประกอบไนโตรเจนเหลือปลดปล่อยออกมาสู่ดินมากขึ้น ในขณะที่ดินชุดส้นทรายนั้นมีค่า C/N สูง ซึ่งทำให้อัตราการ immobilization ของไนโตรเจนสูงเนื่องจากไนโตรเจนที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์มีไม่พอสอดคล้องความต้องการของจุลินทรีย์

2.1 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากการบ่มແໜແຈງในดินชุดส้นทราย

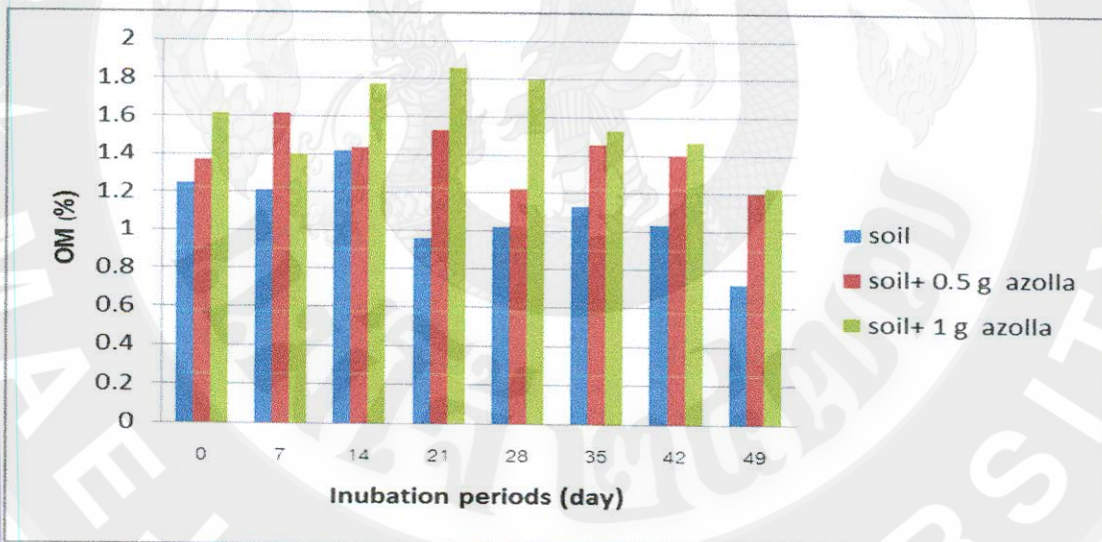
เมื่อทำการทดลองในการปลดปล่อยธาตุอาหารหลักในดินในรูปที่เป็นประโยชน์ของແໜແຈງพบว่าหลังจากใส่ແໜແຈງอายุ 2 สัปดาห์ ที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% พบว่าดินที่ผสมແໜແຈງมีการปลดปล่อยอินทรียวัตถุได้ดีกว่าดินที่ไม่มีແໜແຈງ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.25

ในการปลดปล่อยไนโตรเจนของແໜແຈງจากการบ่มແໜແຈງในดินชุดส้นทรายพบว่าชุดการทดลองที่ 2 แໜແຈງ 1 % จะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงในช่วงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง เป็นต้นไป และจะมีปริมาณปลดปล่อยสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง โดยมีปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจน 0.093% ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 แໜແຈງ 0.5 % จะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงในช่วงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง โดยมีปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงสุด 0.081% ในขณะที่ชุดควบคุมแทบจะไม่พบการปลดปล่อยไนโตรเจนตลอดการทดลอง ยกเว้นในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.26

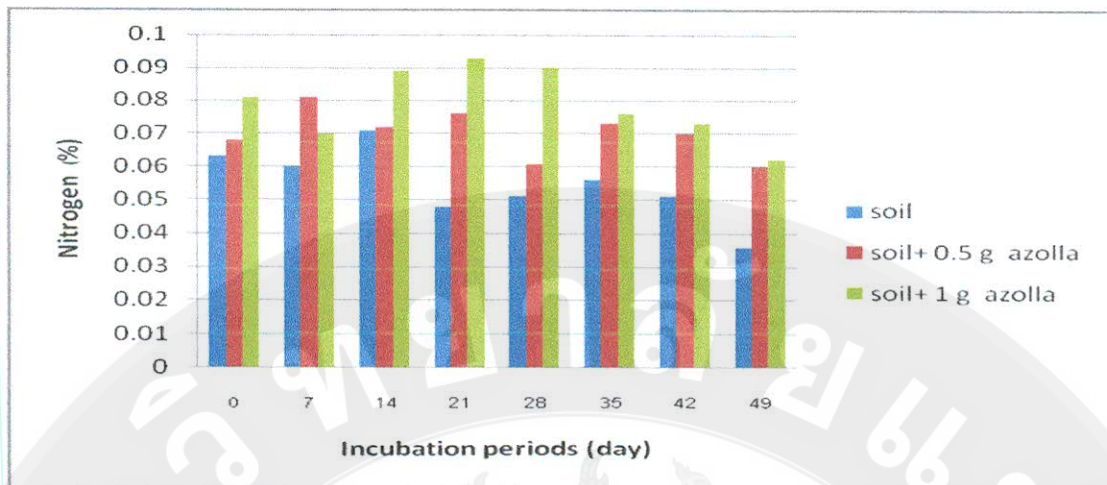
ในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของແໜແຈງจากการบ่มແໜແຈງในดินชุดส้นทรายพบว่าชุดการทดลองที่ 1 แໜແຈງ 0.5 % และชุดการทดลองที่ 2 แໜແຈງ 1 % จะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสตั้งแต่ในช่วงสัปดาห์แรกๆ ของการทดลอง โดยมีอัตราการปลดปล่อยที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีແໜແຈງ โดยชุดการทดลองที่ 2 เริ่มปลดปล่อยฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองและสูงสุดในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง โดยมีปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัส 72 ppm ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 จะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสสูงในช่วงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง โดยมีปริมาณการปลดปล่อย

ไนโตรเจนสูงสุด 72 ppm ในขณะที่ชุดควบคุมแทบจะไม่พบการปลดปล่อยไนโตรเจนตลอดการทดลอง ยกเว้นในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองที่มีอัตราการปลดปล่อยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.27

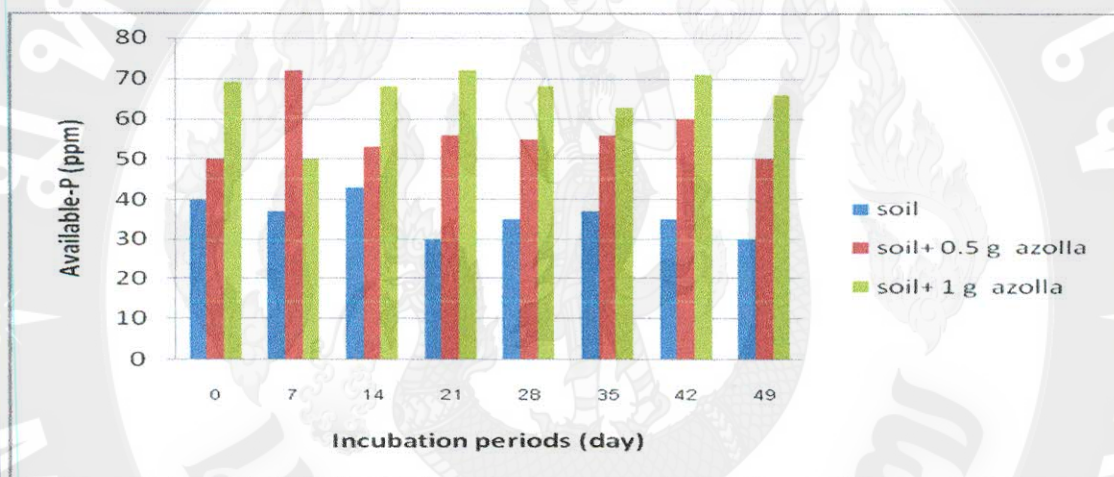
ในการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของแผนแดงจากการบ่มแผนแดงในดินชุดต้นทรายพบว่าชุดการทดลองที่ 1 แผนแดง 0.5 % และชุดการทดลองที่ 2 แผนแดง 1 % จะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีแผนแดง โดยชุดการทดลองที่ 2 ปลดปล่อยโพแทสเซียมสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง โดยมีปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียม 463 ppm ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 จะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมสูงในช่วงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง โดยมีปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมสูงสุด 328 ppm ในขณะที่ชุดควบคุมแทบไม่มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและเกิดการปลดปล่อยในระยะท้ายๆ ของการทดลอง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.28



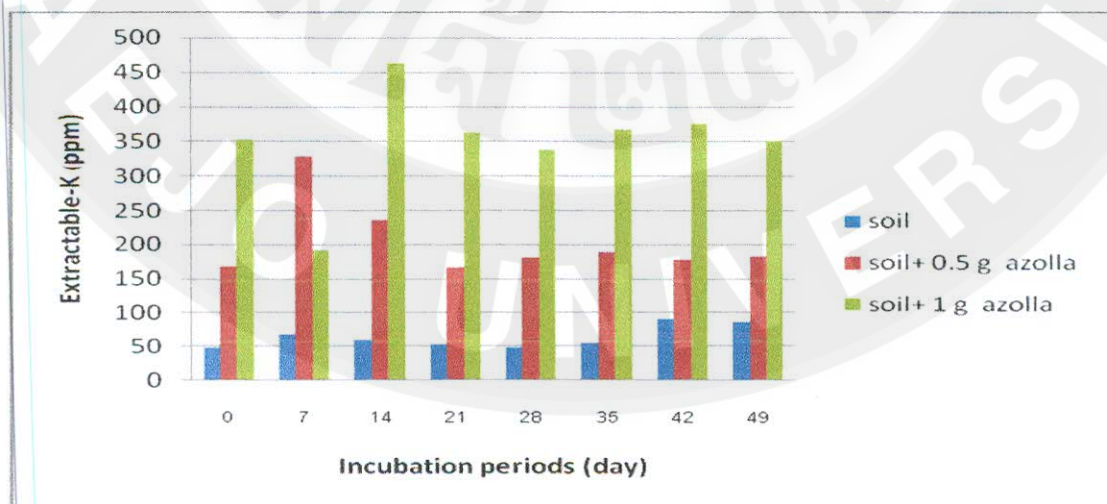
รูปที่ 4.25 การปลดปล่อยอินทรีย์วัตถุจากการบ่มแผนแดงในชุดดินต้นทราย



รูปที่ 4.26 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการบ่มเห็ดแดงในชุดดินสันทราย



รูปที่ 4.27 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการบ่มเห็ดแดงในชุดดินสันทราย



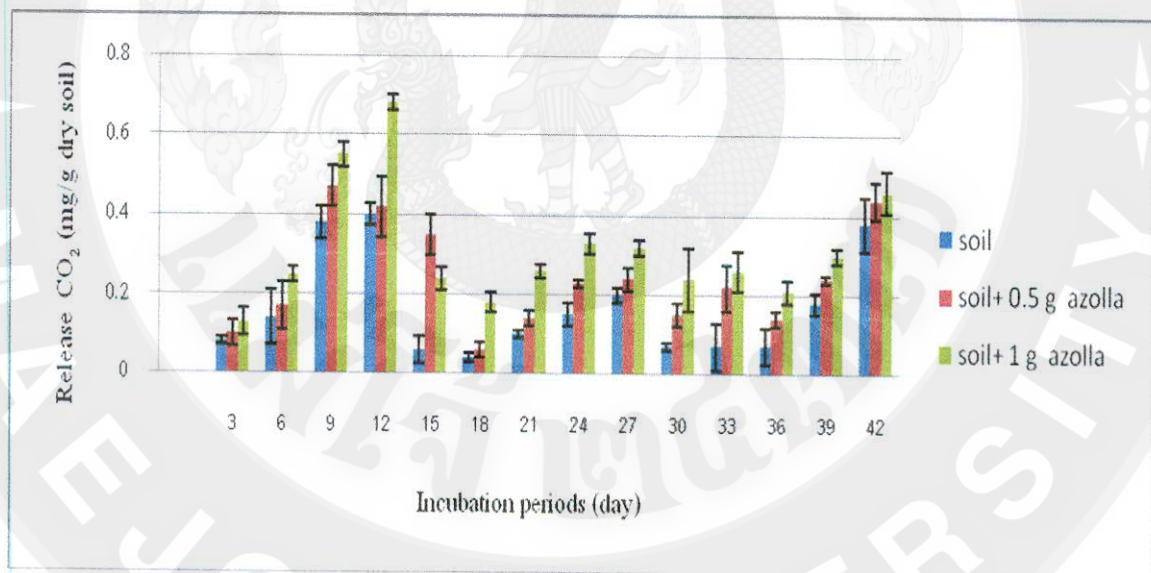
รูปที่ 4.28 การปลดปล่อยโพแทสเซียมจากการบ่มเห็ดแดงในชุดดินสันทราย

จากการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในการบ่มແໜແຈງในชุดดินสันทราย แໜແຈງจะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ได้ตลอดระยะเวลาการบ่ม โดยปริมาณการปลดปล่อยมีความแตกต่างกันบ้าง แต่ไม่มากนักในแต่ละสัปดาห์ ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการบ่มจนถึงสิ้นสุดการบ่ม ในทั้ง 2 ชุดการทดลองที่ใส่ແໜແຈງ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มແໜແຈງลงในวัสดุปรับปรุงดิน นั้นเป็นการเพิ่มวัตถุดิบอินทรีย์จากพืช ซึ่งมีสารประกอบหลายชนิด เช่น น้ำตาล แป้ง โปรตีน น้ำมันกรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งทำให้การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ช้าเร็วแตกต่างกัน ทำให้ແໜແຈງค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาตลอดระยะเวลาการบ่ม ซึ่งนับได้ว่ามีประโยชน์ต่อพืชเพราะพืชจะค่อยๆ ได้รับธาตุอาหาร และเมื่อให้ปริมาณແໜແຈງในวัสดุปรับปรุงดินมากขึ้นก็จะเพิ่มวัตถุดิบอินทรีย์มากขึ้น ทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมามากขึ้นเช่นกัน ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่ใส่ແໜແຈງ มีปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่มีແໜແຈງ

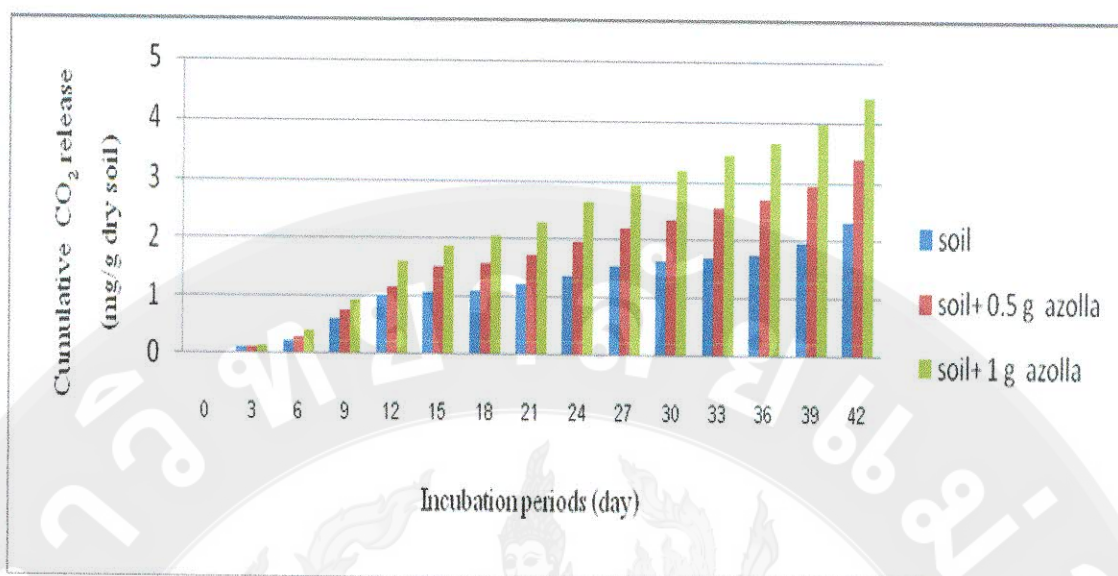
2.2 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการบ่มແໜແຈງในชุดดินสันทราย

เมื่อใส่ແໜແຈງลงไปในดิน แໜແຈງซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายบางส่วนถูกเปลี่ยนเป็น CO_2 น้ำ แร่ธาตุต่างๆ และเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นนอกจากได้จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์แล้วยังเกิดจากการหายใจของจุลินทรีย์ด้วย ดังนั้นเมื่อปริมาณ CO_2 ปลดปล่อยออกมามากจึงแสดงได้ว่ามีกิจกรรมของจุลินทรีย์มากเช่นกัน ซึ่งจากการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 2 (ดิน + 1 g แໜແຈງ) มีการปลดปล่อย CO_2 มากที่สุด ตามมาด้วย ชุดการทดลองที่ 1 (ดิน + 0.5 g แໜແຈງ) และ ชุดควบคุม (ดิน) โดยในชุดการทดลองที่ 2 การปลดปล่อย CO_2 จะเกิดสูงสุดในช่วงวันที่ 12 ของการทดลองซึ่งจะมีการปลดปล่อย CO_2 0.68 mg/g dry soil หลังจากนั้นจะมีค่าการปลดปล่อยลดลง ชุดการทดลองที่ 1 การปลดปล่อย CO_2 ซึ่งจะมีการปลดปล่อย CO_2 0.47 mg/g dry soil จะเกิดสูงสุดในช่วงวันที่ 9 ของการทดลอง หลังจากนั้นจะมีค่าการปลดปล่อยลดลง ในขณะที่ชุดควบคุมจะมีการปลดปล่อย CO_2 ในวันที่ 12 ของการทดลองเช่นกัน โดยจะมีการปลดปล่อย CO_2 0.4 mg/g dry soil จากผลการทดลองพบว่าทุกชุดของการทดลองจะมีการปลดปล่อย CO_2 สูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง

ซึ่งเป็นไปได้ว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 2 นั้นเนื่องจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายตัวได้ง่าย ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.30 โดยหลังจากสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 42 พบว่า พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีการปลดปล่อยรวมสะสมทั้งสิ้น CO_2 ทั้งสิ้น $4.41 \text{ mg/g dry soil}$ ชุดการทดลองที่ 1 มีการปลดปล่อยรวมสะสมทั้งสิ้น CO_2 ทั้งสิ้น $3.37 \text{ mg/g dry soil}$ และชุดควบคุม มีการปลดปล่อยรวมสะสมทั้งสิ้น CO_2 ทั้งสิ้น $2.32 \text{ mg/g dry soil}$ โดยชุดการทดลองที่ 2 มีการปลดปล่อย CO_2 มากกว่าการทดลองที่ 1 ประมาณ 1.3 เท่า และมากกว่าชุดควบคุม 1.9 เท่า ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 CO_2 มีการปลดปล่อย CO_2 มากกว่าชุดควบคุม 1.5 เท่า จากผลการทดลองพบว่า แต่ละชุดการทดลองมีการปลดปล่อย CO_2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจำนวนวันของการบ่มมีผลต่อการปลดปล่อย CO_2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลปลดปล่อย CO_2 จากการบ่มແໜແຈງในชุดดินสัณทรายแสดงในรูปที่ 4.29 และการปลดปล่อย CO_2 สะสมจากการบ่มແໜແຈງในชุดดินสัณทราย แสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 การปลดปล่อย CO_2 จากการบ่มແໜແຈງในชุดดินสัณทราย



รูปที่ 4.30 การปลดปล่อย CO₂ สะสมจากการบ่มเห็ดในชุดดินสนทราย

สรุปผลการทดลอง

1. น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรสามารถนำมาใช้เลี้ยงเห็ดนางฟ้าได้ โดยเห็ดนางฟ้าจะเจริญได้ดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกรได้ในความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่ำๆ คือที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ 0-4% และเมื่อน้ำทิ้งมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นคือตั้งแต่ 6% เป็นต้นไปพบว่าการเจริญของเห็ดนางฟ้าจะลดลง โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ 2% นั้นให้ผลผลิตเห็ดนางฟ้ามากที่สุด คิดเป็นน้ำหนักสด $405.5 \pm 19.5 \text{ g/m}^2$ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง $16.46 \pm 0.8 \text{ g/m}^2$ มีระยะเวลาในการเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่า (doubling time) 4.25 d มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.11 d^{-1}

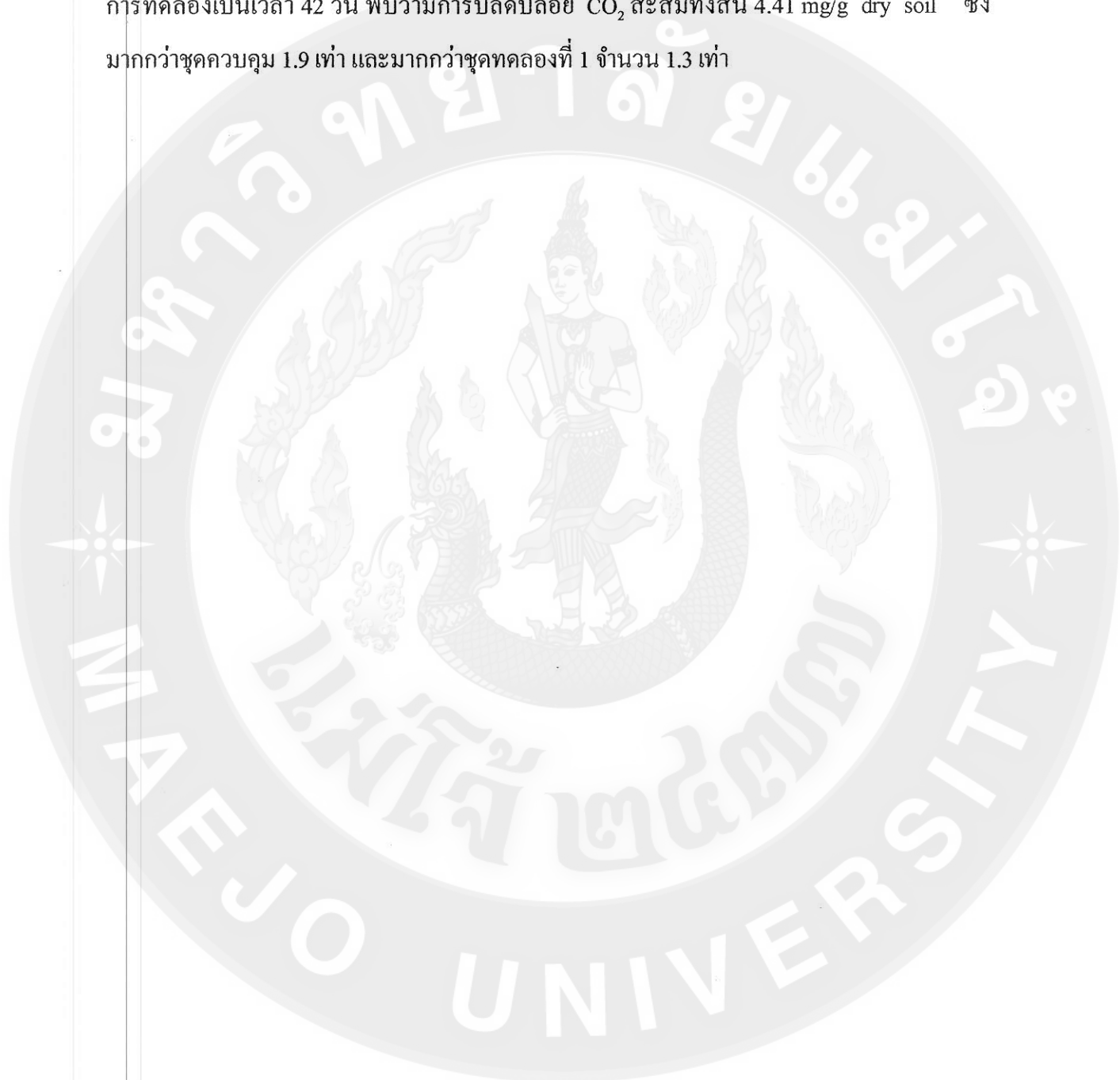
2. เมื่อพิจารณาถึงการใช้น้ำทิ้งในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรพบว่าเห็ดนางฟ้าเป็นพืชที่มีความไวต่อคุณภาพน้ำมาก ซึ่งอาจไม่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้น้ำทิ้งในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ถึงแม้ว่าชุดการทดลองที่ใส่น้ำทิ้ง จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรได้ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ใส่น้ำทิ้งก็ตาม

3. ในการเลี้ยงเห็ดนางฟ้าด้วยน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกรนั้นพบว่าควรเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งเห็ดนางฟ้าจะให้ผลผลิตใกล้เคียงกับปริมาณสูงสุด มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้สูงที่สุด และเห็ดนางฟ้าสามารถสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อได้มากที่สุด โดยสามารถสะสมไนโตรเจนได้เท่ากับ 0.55 g/m^2 โพแทสเซียมเท่ากับ 0.92 g/m^2 และฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.1 g/m^2

4. จากการศึกษากการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม(ดิน 100 g) ชุดการทดลองที่ 1 (ดิน + 0.5g เห็ดนางฟ้า)และชุดการทดลองที่ 2 (ดิน + 1g เห็ดนางฟ้า) พบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช มากที่สุด รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 และชุดควบคุม ตามลำดับ

5. จากการศึกษากการปลดปล่อย CO_2 ในการบ่มเห็ดนางฟ้าในชุดดินสันทราย โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม(ดิน 100 g)ชุดการทดลองที่ 1 (ดิน + 0.5g เห็ดนางฟ้า)และชุดการทดลองที่ 2 (ดิน + 1g เห็ดนางฟ้า) พบว่าทุกชุดของการทดลองจะมีการปลดปล่อย CO_2 สูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ 2 มีการปลดปล่อย CO_2 มากที่สุด รองลงมา

ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 และชุดควบคุม ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 2 มีการปลดปล่อย CO_2 เกิดขึ้นสูงสุดในวันที่ 12 ของการทดลอง ซึ่งจะมีการปลดปล่อย CO_2 0.68 mg/g dry soil เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 42 วัน พบว่ามีการปลดปล่อย CO_2 สะสมทั้งสิ้น 4.41 mg/g dry soil ซึ่งมากกว่าชุดควบคุม 1.9 เท่า และมากกว่าชุดทดลองที่ 1 จำนวน 1.3 เท่า



เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือการเลือกใช้และบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบ
มาตรฐานกรมปศุสัตว์. กรุงเทพฯ: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 33 น.
- กรมปศุสัตว์. 2533. สรุปผลการฝึกอบรมเกษตรกร เรื่องการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ประจำปี
งบประมาณ 2532-2533. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์. 23 น.
- กรมปศุสัตว์. 2558. ข้อมูลเกษตรกร/ปศุสัตว์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
[http://ict.dld.go.th/th2/index.php/th/report/196-report-thailand-livestock/ reportservey2558](http://ict.dld.go.th/th2/index.php/th/report/196-report-thailand-livestock/reportservey2558)
แหล่งที่มา (1 กรกฎาคม 2558).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนัก
เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 440 น.
- ฐปน ชื่นบาล, สุทธิดา อ่ำทอง และนิพนธ์ ธรรมรักษ์. 2553. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการผลิตวัสดุ
ปรับปรุงดินจากมูลสุกรที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ. สำนักงานพัฒนา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- เชาว์วัช หนูทอง. 2551. การใช้เหินแดงปลูกข้าวปลอดสารเคมีลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต. เกษตรกรรม
ธรรมชาติ. 3 : 40-43.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สมาคม
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 703 น.
- นิพนธ์ จันทรโพธิ์. 2526. การจัดการการเลี้ยงสุกร. ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะ
เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 124 น.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. 2549. ปัญหามลภาวะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และ
การบำบัด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/ farmpollution03.php#0230](http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/farmpollution03.php#0230) (30 พฤศจิกายน 2551).
- รัฐชา ชัยชนะ. 2545. การศึกษาปริมาณและการแพร่กระจายของธาตุอาหารพืชที่ส่งผลต่อการเกิด
ยูโทรฟิเคชัน ในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์
(เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วารสารวังคันญ. 2551. เหินแดงและการใช้ประโยชน์ในนาข้าว. เกษตรกรรมธรรมชาติ. 3: 44-50.
- สุวิมล ส่วยสม. 2548. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบี: UASB. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ 2(4): 6.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. สถิติการส่งออก

(Export).[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา

http://www.oae.go.th/oae_report/export_import?export_result_printout.php?value=559x2553x2558 (1 กรกฎาคม 2559).

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. ปัญหามลภาวะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และการบำบัด. [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/farmpollution03.php#0230>(1 กรกฎาคม 2558).

อัศมน ลิมสกุล อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์ สุรินทร์ สุขุมลำนนท์ วุฒิชัย แพงแก้ว และชวลา เสี่ยงล้ำ .2551. รายงานฉบับสมบูรณ์ผลลัพธ์ของชาตุดการบอน/สารอาหารพืชและกระบวนการยูโทรฟิเคชันในทะเลน้อย. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

Adave, S. S., Lee, D. J. and J. H. Tay. 2008. Aerobic granular sludge: Recent advances. **Biotechnology advances** 26: 411-423.

Alef, K., Kassem, A. and Paolo, N. 1995. Estimation of soil respiration. In: Methods in applied soil microbiology and biochemistry, Academic Press, London.

Arora, A. and Singh, P.K. 2003. Comparison of biomass productivity and nitrogen fixing potential of *Azolla* spp. **Biomass and Bioenergy** . 24 (3): 175-178.

Asuming-Brempong, S. Amon, N. K. and Adusei-Okrah, V. 2008. Improving the Nitrogen Mineralization of Dried *Azolla pinnata* as a Bio-fertilizer for Increased Rice Production in the Vertisol. **West African Journal of Applied Ecology**. 13: 144-149.

Bonomo, L., Pastorelli, G. and Zambon, N. 1997. Advantages and limitations of duckweed-based wastewater treatment systems. **Water Science Technology**. 35(5) 239-246

Costa, R.H., Bavaresco, A.S., Medri, W. and Philippi, L.S. 2000. Tertiary treatment of piggery wastes in water hyacinth ponds. **Water Science. Technology**. 42 (10). 211-214.

Feng, C., Shimada, S., Zhang, Z. and Maekawa, T. 2007. A pilot plant two-phase anaerobic digestion system for bioenergy recovery from swine wastes and garbage. **Waste Management** 28 (10): 1827-1834.

Hany Handajana. 2011. Optimization of Nitrogen and phosphorus in *Azolla* growth as biofertilizer. **Makara Teknologi**. 15(2): 142-146.

- Hansen, K.H., Irini, A. and Birgite, K.A. 1997. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. **Water research** 32:5-12.
- Markou, G. and Georgakakis, D. 2011. Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review. **Applied Energy** 88: 3389-3401.
- Pabby, A. Prasanna, R. and Singh, P K. 2003. *Azolla-Anabaena* symbiosis-from traditional agriculture to biotechnology. **Indian Journal of Biotechnology** 02(1) : 26-37.
- Tanner, C. C., Clayton, J. S. and Martin, P. 1995. Upsdel Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands—I. Removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms. **Water Resour.** 29(1): 27-34.
- Saunders, R.M.K. and Fowler, K (1993). The supraspecific taxonomy and evolution of the fern genus *Azolla* (Azollaceae). **Plant Systematics & Evolution**. 184: 175-193.
- Sompongchaiyakul, P., Laongsiriwong, N. and Sangkarnjanawanich, P. 2004. An occurrence of eutrophication in songkhla lake: A Review. In Proceedings of the International Workshop on Integrated Lake Management, Hai-Yai, Songkhla, 19 - 21 August.
- Uheda, E. and Kazuhiro, M. 2009. Inhibition of nitrogen-fixing activity of the cyanobiont affects the localization of glutamine synthetase in hair cells of *Azolla*." **Journal of Plant Physiology** 166: 1705-1709.
- Van Hove, C. 1989. *Azolla* and its Multiple uses with emphasis on Affrica. **Food and Agriculture Organization**. Rome.
- Wagner, G.M. 1997. *Azolla*: A review on its biology and utilization. **Botanical Review**. 63:1-26.
- Wilkie, A. C and Mulbry W. W. 2002. Recovery of dairy manure nutrients by benthic freshwater algae. **Bioresour Technology**. 84(1):81-91.



ภาคผนวก



รูปภาคผนวกที่ 1 การทดลองการเลี้ยงเหินแดงในน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกร

ก. เริ่มต้นการทดลอง ข. หลังการทดลอง



รูปภาคผนวกที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเก็บผลผลิต



รูปภาคผนวกที่ 3 แหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกร



รูปภาคผนวกที่ 4 ผลผลิตของแหนแดง



รูปภาคผนวกที่ 5 ขั้นตอนการเตรียมดินเพื่อใช้ในการทดลอง

- ก. ดินชุดสัณทรายที่ใช้ในการทดลอง
- ข. การร่อนดินผ่านตะแกรง
- ค. การอบดิน
- ง. ดินที่ใช้ในการทดลอง



รูปภาคผนวกที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมແຫນແດງเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

ก. แຫນແດງก่อนอົບ

ข. การอົບແຫນແດງ

ค. แຫນແດງหลังการอົบที่ใช้ในการทดลอง



รูปภาคผนวกที่ 7 ชุดการทดสอบการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากการบ่มเห่นแดงในดินชุดต้น
ทราย



รูปภาคผนวกที่ 8 ชุดการทดลองการวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์