

การเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้าคุณภาพสูงโดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

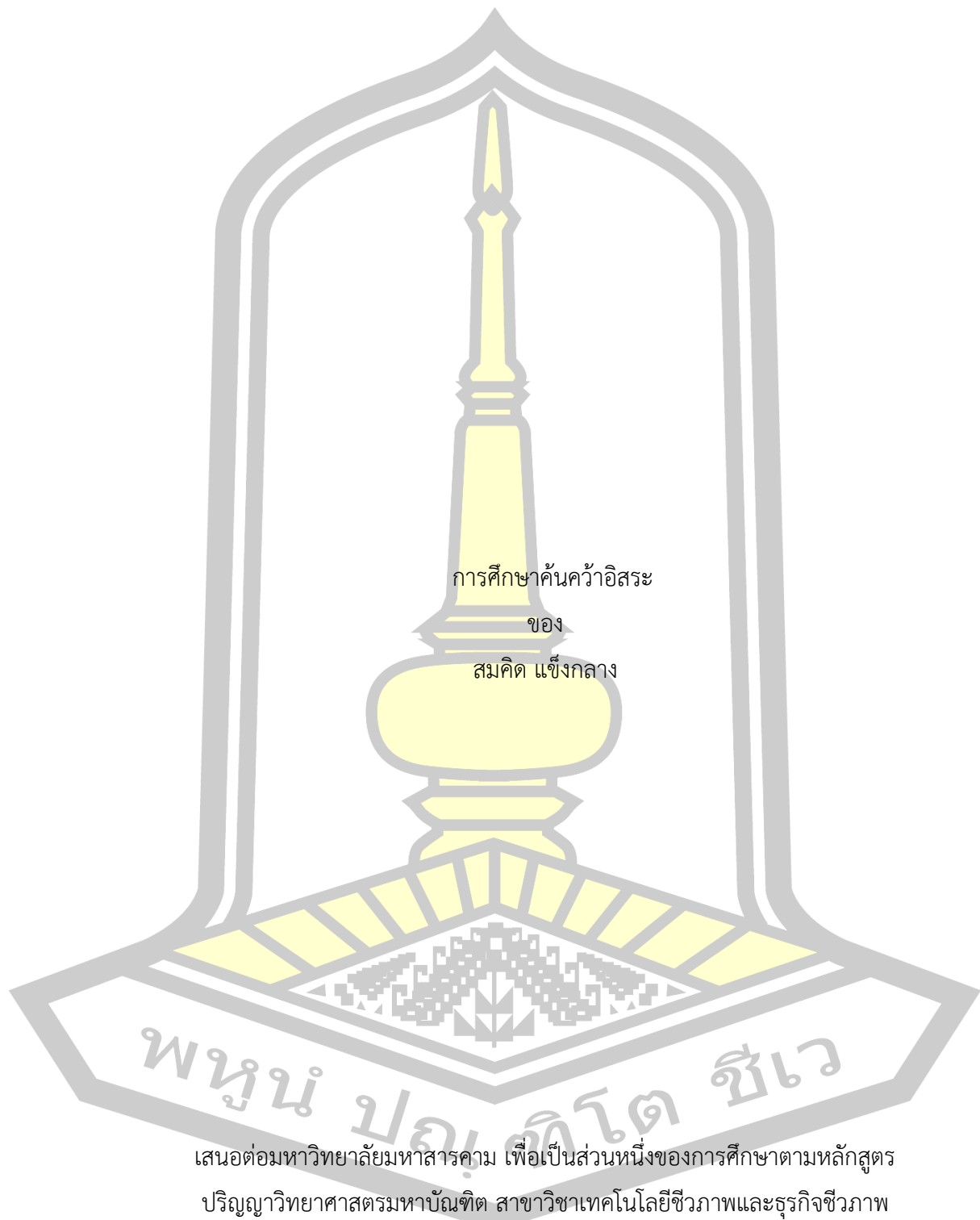
การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
สมคิด แข็งกลาง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพและธุรกิจชีวภาพ

กรกฎาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมนางฟ้าคุณภาพสูงโดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร



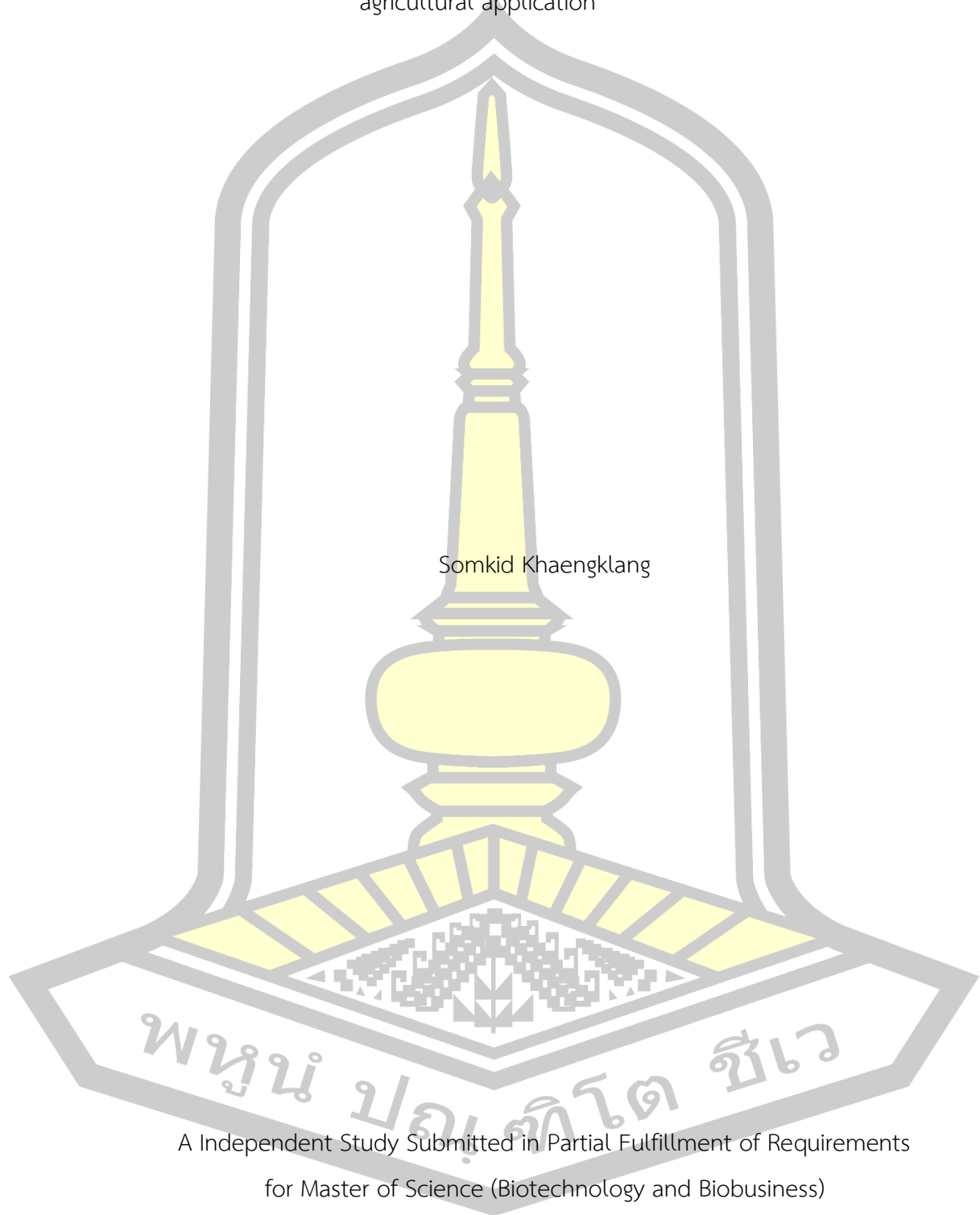
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพและธุรกิจชีวภาพ

กรกฎาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Cultivation of high quality *Azolla* (*Azolla microphylla*) using swine wastewater for
agricultural application

Somkid Khaengklang



A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Biotechnology and Biobusiness)

July 2023

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของนาย
สมคิด แข็งกลาง แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพและธุรกิจชีวภาพ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. วิจิตรา หลวงอินทร์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ศิริรัตน์ ดีศีลธรรม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รศ. ดร. ลือชัย บุตุคูป)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. สุนันทา เลาว์ณย์ศิริ)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ว่าที่ ร.ต. ดร. อนุชา เหลาเคน)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพและธุรกิจชีวภาพ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(ผศ. ดร. สุมลวรรณ ชุ่มเชื้อ)

คณบดีคณะเทคโนโลยี

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมคุณภาพสูงโดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร		
ผู้วิจัย	สมคิด แข็งกลาง		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ดีศีลธรรม รองศาสตราจารย์ ดร. ลือชัย บุตุคุป		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพและธุรกิจชีวภาพ
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2566

บทคัดย่อ

ปัจจุบันฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น กระจายตัวอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสังคมแบบเกษตรกรรมเป็นสังคมอุตสาหกรรม ทำให้ฟาร์มที่เลี้ยงสุกรเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนสุกรมากขึ้นเพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ ส่งผลให้ปริมาณของเสียเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะน้ำเสียซึ่งเป็นปัญหาให้กลุ่มฟาร์มผู้เลี้ยงสุกร เนื่องจากระบบบำบัดที่นำมาใช้ยังไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้ผ่านค่ามาตรฐานก่อนการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม การใช้เห็ดนางรมซึ่งเป็นเห็ดที่ทนน้ำได้ดีซึ่งมีความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีศักยภาพในการใช้งานด้านการเกษตรที่ยั่งยืน ทำได้ง่าย ต้นทุนต่ำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมคุณภาพสูงโดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 จากฟาร์มสุกร 3 แห่ง ได้แก่ ฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ (Breeder farm: BR) ฟาร์มสุกรขุน (Finisher farm: FS) บ่อไร้อากาศ ฟาร์มสุกรขุน (Biogas of Finisher farm: Bio) เป็นแหล่งธาตุอาหารและเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganism, EM) วิเคราะห์การเจริญเติบโตของเห็ดนางรม ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต การผลิตชีวมวล และประสิทธิภาพการดูดซึมธาตุอาหาร การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ BOD COD ระดับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม หลังการเพาะเลี้ยง

ผลการวิเคราะห์พบว่าเห็ดนางรมเจริญได้ดีในน้ำเสียที่มีการปรับสภาพด้วย EM ก่อนการเพาะเลี้ยงทั้ง 3 แห่ง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ เห็ดนางรมในน้ำเสียกลุ่ม BREM, FSEM, BioEM มีระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า เท่ากับ 5.32, 5.92 และ 13.56 วัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) เท่ากับ 12.98, 10.00 และ 2.70 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณวัตถุแห้ง (Dry matter) เท่ากับ 8.27, 9.43 และ 7.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณเถ้า (Ash) เท่ากับ 20.00, 24.30 และ 27.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการ

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเห่นแดง มีปริมาณผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN) ปริมาณไขมัน (Fat) ปริมาณเยื่อใยอาหาร (Fiber) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณโพแทสเซียม (K) และปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในระดับมาตรฐาน ที่อาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอื่นๆ ต่อไปในอนาคตได้ ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังการเพาะเลี้ยงเห่นแดง พบว่าเห่นแดงสามารถลดค่า BOD ได้ 45-80 เปอร์เซ็นต์ ลดค่า COD ได้ 50-80 เปอร์เซ็นต์ ลดค่า TKN ได้ 30-90 เปอร์เซ็นต์ ลดค่า TP ได้ 40-80 เปอร์เซ็นต์ ลดค่า TK ได้ 60-80 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่าใช้เห่นแดงมีความสามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้ดีขึ้นได้

จากการศึกษานี้ผลการทดลองมีนัยสำคัญต่อการเกษตรยั่งยืนและการจัดการน้ำเสีย การเลี้ยงเห่นแดงโดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรและการเพิ่ม EM เป็นทางออกที่ดีในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำเสีย ในขณะเดียวกันผลผลิตชีวมวลเห่นแดงซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร สำหรับใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์หรือปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

คำสำคัญ : เห่นแดง, น้ำเสีย, การเกษตร, พืชบำบัด, การบำบัดโดยพืช



TITLE	Cultivation of high quality Azolla (<i>Azolla microphylla</i>) using swine wastewater for agricultural application		
AUTHOR	Somkid Khaengklang		
ADVISORS	Associate Professor Sirirat Deeseenthum , Ph.D. Associate Professor Luchai Butkhop , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Biotechnology and Biobusiness
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2023

ABSTRACT

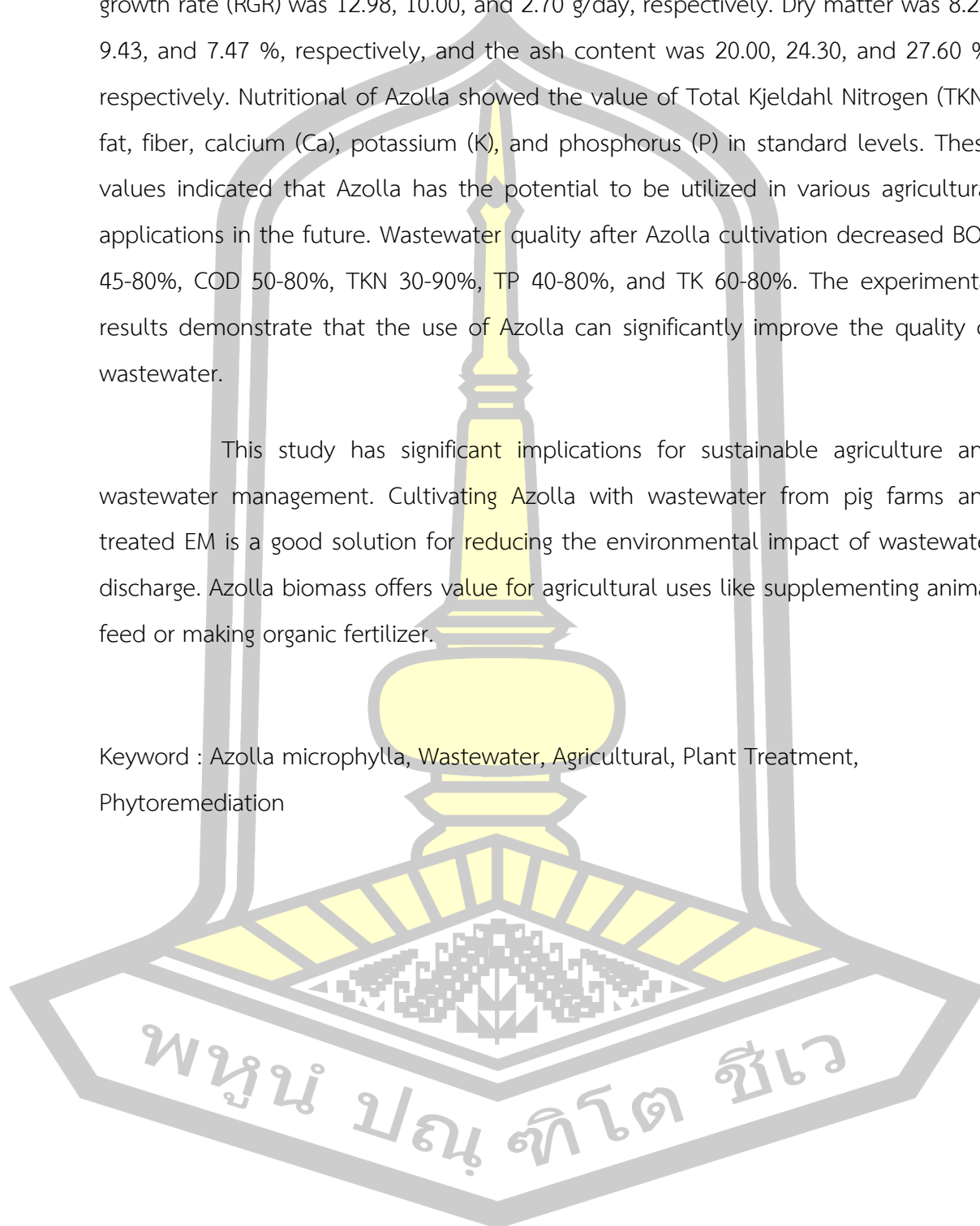
Currently, pig farms in Thailand are expanding and spreading throughout all regions and shifting from an agricultural society to an industrial society. This expansion is driven by the increasing demand from consumers, both domestically and internationally, which requires more intensive and intensive pig farming operations. However, this has resulted in a significant increase in waste generation, particularly regarding wastewater. The farms need help in treating wastewater to the standards before discharge. Azolla, a floating fern, has gained significant attention due to its sustainable agricultural potential, ease of use, and low cost. The objective of this study is to investigate Azolla cultivation on secondary treated wastewater from three pig farms: the breeder farm (BR), the finisher farm (FS), and the biogas system of the finisher farm (Bio) serve as a nutrient source enhanced with effective microorganisms (EM) to improve efficiency. The analysis focuses on Azolla's growth rate, biomass production, and nutrient uptake efficiency. Additionally, the study analyzes the quality of the wastewater, including parameters such as Biochemical oxygen demand (BOD), Chemical oxygen demand (COD), Nitrogen, Phosphorus, and Potassium after the cultivation.

The results showed that Azolla growth was better in the EM pre-treated wastewater compared with the untreated group. Azolla in the BREM, FSEM, and

BioEM had doubling times of 5.32, 5.92, and 13.56 days, respectively. The relative growth rate (RGR) was 12.98, 10.00, and 2.70 g/day, respectively. Dry matter was 8.27, 9.43, and 7.47 %, respectively, and the ash content was 20.00, 24.30, and 27.60 %, respectively. Nutritional of Azolla showed the value of Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), fat, fiber, calcium (Ca), potassium (K), and phosphorus (P) in standard levels. These values indicated that Azolla has the potential to be utilized in various agricultural applications in the future. Wastewater quality after Azolla cultivation decreased BOD 45-80%, COD 50-80%, TKN 30-90%, TP 40-80%, and TK 60-80%. The experimental results demonstrate that the use of Azolla can significantly improve the quality of wastewater.

This study has significant implications for sustainable agriculture and wastewater management. Cultivating Azolla with wastewater from pig farms and treated EM is a good solution for reducing the environmental impact of wastewater discharge. Azolla biomass offers value for agricultural uses like supplementing animal feed or making organic fertilizer.

Keyword : Azolla microphylla, Wastewater, Agricultural, Plant Treatment, Phytoremediation



กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาอิสระฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ดีศีลธรรมอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาอิสระหลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.ลือชัย บุตุคุป อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาอิสระร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา หลวงอินทร์ ประธานกรรมการควบคุมการสอบศึกษาอิสระ ว่าที่ร้อยตรี ดร.อนุชา เทลาเคน กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ภายนอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันทา เลาว์ณศิริ กรรมการควบคุมการศึกษาอิสระ

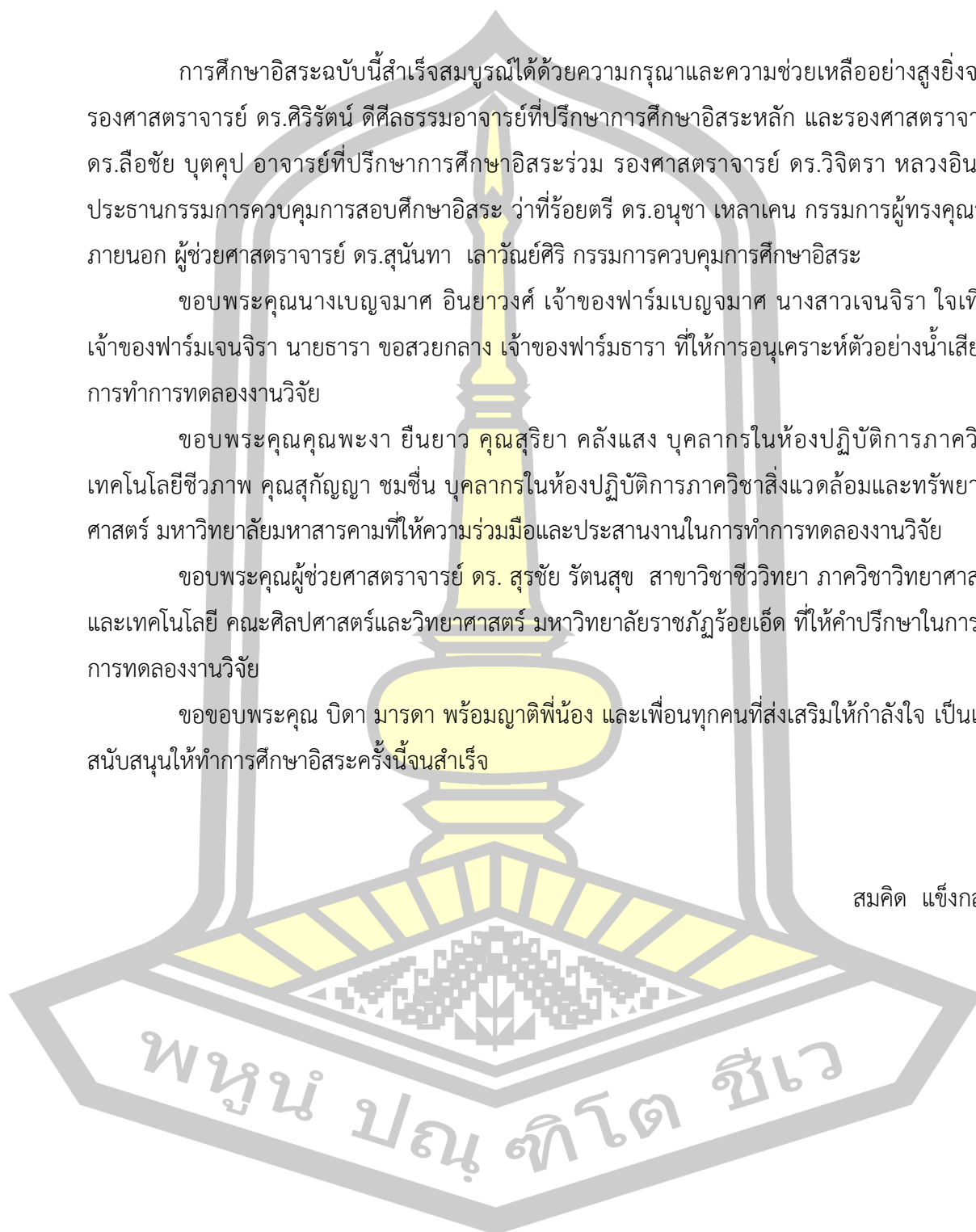
ขอขอบคุณนางเบญจมาศ อินยวงค์ เจ้าของฟาร์มเบญจมาศ นางสาวเจนจิรา ใจเที่ยง เจ้าของฟาร์มเจนจิรา นายธรา ขอสวยกลาง เจ้าของฟาร์มธรา ที่ให้การอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในการทำการทดลองงานวิจัย

ขอขอบคุณคุณพะงา ยืนยาว คุณสุริยา คลังแสง บุคลากรในห้องปฏิบัติการภาควิชา เทคโนโลยีชีวภาพ คุณสุกัญญา ชมชื่น บุคลากรในห้องปฏิบัติการภาควิชาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความร่วมมือและประสานงานในการทำการทดลองงานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัชย์ รัตนสุข สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ที่ให้คำปรึกษาในการทำ การทดลองงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พร้อมญาติพี่น้อง และเพื่อนทุกคนที่ส่งเสริมให้กำลังใจ เป็นแรง สนับสนุนให้การศึกษาอิสระครั้งนี้จนสำเร็จ

สมคิด แฉ่งกลาง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ด
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย.....	4
1.5 สมมติฐาน	5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	5
บทที่ 2	6
ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	6
2.1.1 ชนิดของฟาร์มสุกร.....	6
2.1.2 ขนาดและการคำนวณประเภทการเลี้ยงสุกร	7
2.1.3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร.....	8
2.1.4 แหล่งกำเนิดและลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	9

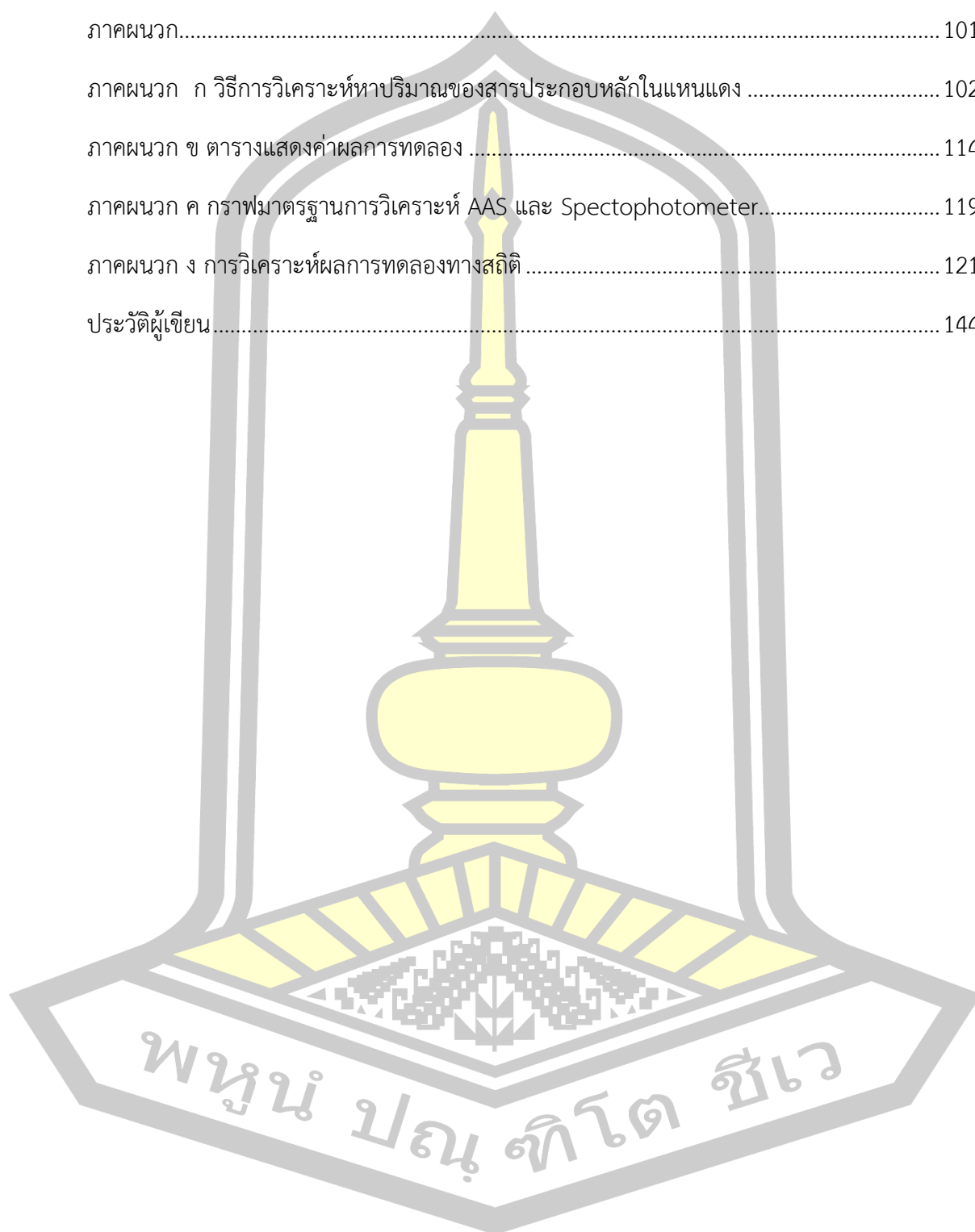
2.1.5 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดและคุณภาพน้ำทิ้ง	11
2.1.6 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ใช้ในประเทศไทย	11
2.2 การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (Heavy metal).....	18
2.2.1 ตะกั่ว (Lead, Pb)	18
2.2.2 แคดเมียม (Cadmium, Cd)	19
2.2.3 ปรอท (Mercury, Hg)	19
2.2.4 สารหนู (Arsenic, As).....	19
2.2.5 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	20
2.2.6 ค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหารสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	20
2.3 แหนแดง	21
2.3.1 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์	21
2.3.2 สายพันธุ์ของแหนแดง.....	22
2.3.3 แหนแดง สายพันธุ์ อะซอลล่า ไมโครฟิลลล่า (<i>Azolla microphylla</i>).....	28
2.3.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแหนแดง.....	29
2.3.5 ธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแหนแดง	29
2.3.6 การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของแหนแดง	31
2.3.7 วงจรชีวิตแหนแดง	32
2.3.8 ศัตรูของแหนแดง.....	32
2.3.9 องค์ประกอบและแร่ธาตุในแหนแดง	33
2.3.10 การใช้ประโยชน์จากแหนแดง	33
2.4 การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation).....	40
2.5 Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM).....	43
2.5.1 ลักษณะทั่วไปของ EM	44
2.5.2 การดูแลรักษาหัวเชื้อจุลินทรีย์ EM.....	44

2.5.3 วิธีใช้และประโยชน์ของ EM สด.....	45
2.5.4 วิธีใช้และประโยชน์ EM ขยาย.....	46
2.5.5 การใช้ประโยชน์ EM ร่วมกับปุ๋ยแห้ง.....	46
บทที่ 3	48
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....	48
3.1 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	48
3.2 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างจากฟาร์มสุกรก่อนนำมาเพาะเลี้ยงแหนแดง	49
(<i>Azolla microphylla</i>).....	49
3.2.1 แหล่งของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	49
3.2.2 วิธีการเก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	49
3.2.3 การเพิ่มปริมาณ Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM)	49
3.2.4 การเตรียมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	50
3.2.5 สายพันธุ์ของแหนแดง.....	50
3.2.6 การวางบ่อทดลอง.....	50
3.2.7 ภาชนะที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.2.8 การศึกษาความสามารถในการเจริญของแหนแดง (<i>Azolla microphylla</i>)	51
3.2.9 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.3 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของแหนแดงจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร.....	52
3.3.1 ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นทวีคูณ (Doubling time).....	52
3.3.2 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate: RGR).....	52
3.3.3 ปริมาณวัตถุแห้ง (% Dry matter basis, DM).....	52
3.3.4 ปริมาณเถ้า (Ash).....	53
3.4 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของแหนแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้ง.....	53
3.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในแหนแดง	53

3.5 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า 21 วัน	53
3.5.1. การศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของเห็ดนางฟ้า.....	54
3.5.2. การศึกษาคุณภาพน้ำเสียก่อนการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า.....	54
3.5.3 การศึกษาคุณภาพน้ำเสียหลังการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า.....	55
3.5.4 การคำนวณร้อยละการกำจัด (%Removal)	55
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	55
บทที่ 4	56
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	56
4.1 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างจากฟาร์มสุกรก่อนนำมาเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า (Azolla microphylla).....	56
4.2 ความสามารถในการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า (Azolla microphylla).....	57
4.3 การประเมินอัตราการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจาก	67
4.3.1 อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (Doubling time).....	67
4.3.2 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate : RGR).....	68
4.3.3 ปริมาณวัตถุแห้ง (% Dry matter basis, DM).....	69
4.3.4 ปริมาณเถ้า (Ash).....	70
4.4 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดนางฟ้าที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร .	71
4.4.1 ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN).....	71
4.4.2 ปริมาณไขมัน (Fat).....	72
4.4.3 ปริมาณใยอาหาร (Fiber).....	73
4.4.4 ปริมาณแคลเซียม (Ca).....	74
4.4.5 ปริมาณฟอสฟอรัส (P).....	75
4.4.6 ปริมาณโพแทสเซียม (K).....	76

4.5 การประเมินความสามารถการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังการเพาะเลี้ยงเห็ด	
แดง 21 วัน.....	77
4.5.1 ค่า pH.....	77
4.5.2 Biological Oxygen Demand (BOD).....	78
4.5.3 Chemical Oxygen Demand (COD).....	80
4.5.4 Settleable Solids (SS).....	81
4.5.5 Total Kjedahl Nitrogen (TKN).....	82
4.5.6 Total Phosphorus (TP).....	83
4.5.7 Total Potassium (TK).....	84
บทที่ 5.....	86
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	86
5.1.1 ความสามารถและอัตราการเจริญเติบโตของแหนแดง (<i>Azolla microphylla</i>) ...	86
5.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของแหนแดง (<i>Azolla microphylla</i>).....	86
5.1.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของแหนแดง (<i>Azolla microphylla</i>)	86
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
5.2.1 การใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อการผลิตแหนแดง.....	86
5.2.2 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเพื่อบำบัดน้ำเสีย.....	87
5.2.3 การใช้แหนแดงเป็นอาหารสัตว์.....	87
5.2.3.1 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเป็นอาหารสัตว์ปีก.....	87
5.2.3.2 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....	87
5.2.3.3 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเป็นอาหารสุกร.....	88
5.2.3.4 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเป็นอาหารปลา.....	88
5.2.4 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเพื่อเป็นปุ๋ย.....	88

บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก.....	101
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในแทนแดง	102
ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าผลการทดลอง	114
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ AAS และ Spectrophotometer.....	119
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ	121
ประวัติผู้เขียน.....	144



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ประเภทการเลี้ยงสุกรที่กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง	7
ตารางที่ 2 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร	8
ตารางที่ 3 การประเมินปริมาณน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	9
ตารางที่ 4 ค่าความสกปรกของน้ำเสีย อัตราการใช้น้ำ และอัตราการเกิดน้ำเสียจำแนกตามประเภท สุกรที่เลี้ยง	10
ตารางที่ 5 คุณสมบัติของน้ำเสียตามขนาดของฟาร์มสุกร	10
ตารางที่ 6 ค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหารสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	20
ตารางที่ 7 องค์ประกอบและแร่ธาตุในตัวอย่างແໜແດງ	33
ตารางที่ 8 การบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อมโดย Azolla sp	37
ตารางที่ 9 ความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดย Azolla sp	38
ตารางที่ 10 สภาวะการทดลองโดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 21 วัน	51
ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในແໜແດງ	53
ตารางที่ 12 วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร	54
ตารางที่ 13 ตารางแสดงคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างได้จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองก่อน การทดลอง	56

พูน ปณ จิต ชีเว

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 บ่อปรับเสถียร (Wastewater Stabilization Ponds).....	12
รูปที่ 2 ระบบบ่อโดมคงที่ (Fixed dome).....	16
รูปที่ 3 บ่อหมักกราง (Channel digester)	16
รูปที่ 4 บ่อคลุมแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Covered lagoon).....	17
รูปที่ 5 ลานตากตะกอนแบบที่มีหลังคาและไม่มีหลังคา.....	17
รูปที่ 6 บ่อฝังแบบผสมหรือระบบบึงประดิษฐ์.....	18
รูปที่ 7 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโพรงใบแหนแดง.....	21
รูปที่ 8 โครงสร้างของแหนแดง.....	22
รูปที่ 9 แहनแดงสายพันธุ์ <i>Azolla nilotica</i> Decne. ex Mett.....	24
รูปที่ 10 แहनแดงสายพันธุ์ <i>Azolla pinnata</i> R.Br.....	25
รูปที่ 11 แहनแดงสายพันธุ์ <i>Azolla caroliniana</i> Willd.....	25
รูปที่ 12 แहनแดงสายพันธุ์ <i>Azolla filiculoides</i> Lam.	26
รูปที่ 13 แहनแดงสายพันธุ์ <i>Azolla mexicana</i> Presl.....	26
รูปที่ 14 แहनแดงสายพันธุ์ <i>Azolla rubra</i> R.Brown	27
รูปที่ 15 แहनแดงสายพันธุ์ <i>Azolla microphylla</i> Kaulf.....	27
รูปที่ 16 ลักษณะของแหนแดง ก) <i>Azolla microphylla</i> และ ข) <i>A. pinnata</i>	28
รูปที่ 17 การสร้างสปอร์ของ <i>Azolla microphylla</i>	31
รูปที่ 18 วงจรชีวิตแหนแดง.....	32
รูปที่ 19 แมลงศัตรูของแหนแดง.....	32
รูปที่ 20 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์	34
รูปที่ 21 การตากแหนแดงเพื่อทำแหนแดงแห้ง	35

รูปที่ 22 การใช้แผนแดงในการผลิตกล้วยและข้าว	36
รูปที่ 23 คุณประโยชน์ของแผนแดงที่มีต่อการเกษตร เศรษฐกิจ สังคมและระบบนิเวศ	39
รูปที่ 24 กระบวนการบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation)	41
รูปที่ 25 กลไกการดูดซับสารมลพิษที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำของแผนแดง	42
รูปที่ 26 เชื้อจุลินทรีย์ EM ทางการค้า	43
รูปที่ 27 แสดงการเจริญเติบโตของแผนแดงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพอ-แม่พันธุ์ ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน	58
รูปที่ 28 แสดงการเจริญเติบโตของแผนแดงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพอ-แม่พันธุ์+ EM ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน	59
รูปที่ 29 แสดงการเจริญเติบโตของแผนแดงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุนที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน	60
รูปที่ 30 แสดงการเจริญเติบโตของแผนแดงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน+EM ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน	61
รูปที่ 31 แสดงการเจริญเติบโตของแผนแดงในน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุนที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน	62
รูปที่ 32 แสดงการเจริญเติบโตของแผนแดงในน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน+EM ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน	63
รูปที่ 33 แสดงลักษณะของแผนแดงที่เลี้ยงในน้ำเสียแต่ละประเภทหลังครบ 21 วัน	65
รูปที่ 34 แสดงลักษณะของแผนแดงหลังการเก็บเกี่ยว	66
รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (วัน)	67
รูปที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต (g/day)	68
รูปที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณวัตถุแห้ง (%) ของแผนแดง	69
รูปที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเถ้า (%) ของแผนแดง	70
รูปที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ TKN (%) ในแผนแดง	71
รูปที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไขมัน (%) ของแผนแดง	72

รูปที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเยื่อใยอาหาร (%) ของແໜແດງ.....	73
รูปที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียม (%) ในແໜແດງ	74
รูปที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัส (%) ในແໜແດງ.....	75
รูปที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียม (%) ของແໜແດງ.....	76
รูปที่ 45 ค่า pH ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແໜແດງທັງ 3 ສຸດການທຸດລອງ ທີ່ 0 ວັນ ແລະ 21 ວັນ.....	77
รูปที่ 46 ค่า BOD ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແໜແດງທັງ 3 ສຸດການທຸດລອງ ທີ່ 0 ວັນ ແລະ 21 ວັນ.....	78
รูปที่ 47 ค่า COD ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແໜແດງທັງ 3 ສຸດການທຸດລອງ ທີ່ 0 ວັນ ແລະ 21 ວັນ.....	80
รูปที่ 48 ค่า SS ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແໜແດງທັງ 3 ສຸດການທຸດລອງ ທີ່ 0 ວັນ ແລະ 21 ວັນ.....	81
รูปที่ 49 ค่า TKN ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແໜແດງທັງ 3 ສຸດການທຸດລອງ ທີ່ 0 ວັນ ແລະ 21 ວັນ.....	82
รูปที่ 50 ค่า TP ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແໜແດງທັງ 3 ສຸດການທຸດລອງ ທີ່ 0 ວັນ ແລະ 21 ວັນ	84
รูปที่ 51 ค่า TK ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແໜແດງທັງ 3 ສຸດການທຸດລອງ ທີ່ 0 ວັນ ແລະ 21 ວັນ	85



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นกระจายตัวอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสังคมแบบเกษตรกรรมเป็นสังคมอุตสาหกรรม ประกอบกับความรู้และเทคโนโลยีในการเลี้ยงสุกรมีความก้าวหน้ามากขึ้นจึงทำให้ฟาร์มที่ทำการเลี้ยงสุกรเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นและเลี้ยงสุกรได้จำนวนมากขึ้นเพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการบริโภคของประชาชนทั้งในและต่างประเทศ (คณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2561) น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการเลี้ยง การชะล้างคอกและโรงเรือนเลี้ยงสุกรซึ่งจะมีการปนเปื้อนของมูลสุกร และเป็นแหล่งของธาตุอาหารซึ่งหากปล่อยสู่ธรรมชาติจะเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุม การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทำให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรม เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว หรือเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดสารอาหารในน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสารอาหารที่พบในน้ำเสียนั้นพบว่ามีปริมาณของไนโตรเจน (Total kjeldahl nitrogen, TKN) และปริมาณฟอสฟอรัส (ณัฐสิมา โทชันท์ และคณะ, 2554) ยังไม่ผ่านมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร

เมื่อมีการเลี้ยงสุกรขยายตัวเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดของฟาร์ม เช่น ฟาร์มเลี้ยงสุกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยทั่วไปมักมีการเลี้ยงในพื้นที่ที่มีอยู่จำกัด การขยายการเลี้ยงส่วนใหญ่จึงเป็นการเพิ่มจำนวนคอกและจำนวนจำนวนสุกรที่เลี้ยงบนพื้นที่ขนาดเล็ก ฟาร์มเลี้ยงสุกรจึงประสบปัญหาต่างๆ ทางด้านสิ่งแวดล้อม คือปริมาณของสิ่งขี้ถ่ายที่เกิดขึ้นในฟาร์มแต่ละวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาด อายุของสัตว์ และขึ้นกับขนาดของฟาร์มหรือจำนวนสัตว์ที่เลี้ยงด้วย ลักษณะของน้ำเสียในฟาร์มเลี้ยงสุกรยังขึ้นอยู่กับวิธีการทำความสะอาด ของเสียที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะที่เป็นของแข็งหรือของเหลวที่ไหลได้แตกต่างกัน การจัดการเคลื่อนย้ายของเสียจึงอาศัยลักษณะโรงเรือนและระบบการระบายของเสีย ด้วยวิธีการต่างๆ กัน และรวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ที่แตกต่างกันด้วย

ฟาร์มสุกรเป็นแหล่งของกลิ่นเหม็น แผลงวัน จากเล้า ตัวสุกร และจากมูลสุกรที่กองพักอยู่ในฟาร์ม หรือในบ่อพักมูลเหลวที่ขาดระบบการบำบัดที่มีมาตรฐานของน้ำเสีย จากการไหลล้นของน้ำเสียที่ยังไม่มีระบบบำบัดจากเล้าสุกรออกจากบ่อพักน้ำเสีย ซึ่งมีขนาดบ่อไม่เพียงพอต่อปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดความเดือดร้อนกับพื้นที่การเกษตรที่อยู่ใกล้เคียง มีปัญหาการร้องเรียนเรื่องปัญหามลภาวะกันมาก เกิดกรณีพิพาทระหว่างฟาร์มเลี้ยงสุกรและชุมชน ทำให้ฟาร์มกับชุมชนหาข้อสรุปที่

เป็นความเห็นร่วมกันได้ยากว่าการแก้ไขควรทำถึงเกณฑ์ใดอีกทั้งผู้ประกอบการฟาร์มสุกรยังขาดองค์ความรู้ ทุนทรัพย์ และความสามารถในการเข้าถึงเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพได้

โดยรูปแบบน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่มักจะเกิดจาก 2 แหล่งหลักๆ หนึ่งคือจากมูลที่มีกากของวัตถุดิบอาหาร หลงเหลืออยู่ สองคือน้ำที่ล้างโรงเรือนหรือแม้แต่ น้ำที่ล้างตัวสุกรเองก็ตาม ซึ่งทั้งสองมีองค์ประกอบดังนี้

1) สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น กากข้าวโพด กากถั่วเหลือง วัตถุดิบอาหารสัตว์หรือวัตถุดิบทดแทน ที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้อย่างสมบูรณ์ โดยสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายได้ แต่ต้องพึ่งพาการทำงานจุลินทรีย์ ที่สามารถกำจัดสารเหล่านี้ได้

2) สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุที่เกิดจากสุกรขับถ่ายออกมา หรือแม้แต่ตะกอนของสารเคมีที่มีการใช้ในฟาร์มเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วยังคงหลงเหลือแร่ธาตุบางตัว เช่น คลอไรด์, ซัลเฟต อยู่ในฟาร์มเลี้ยงสุกร

การบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียได้ดังนี้

1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระจดาช พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2. การบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

3. การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic organisms) ก็ได้ ซึ่งการใช้การบำบัดทางชีวภาพปัจจุบันเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพดี ไม่มีสารพิษตกค้าง ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์บำบัดน้ำควรมีประโยชน์ในด้านการลดค่าสารอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ

จากของเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มสุกรข้างต้น ส่งผลให้การบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกรนั้นนับเป็นสิ่งที่สำคัญเนื่องด้วยระบบการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนั้นมีหลากหลาย การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน การเลือกผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องคำนึงถึงชนิดและแหล่งที่มา ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ว่าสามารถเชื่อถือได้หรือไม่ ความสามารถของผลิตภัณฑ์เพียงพอต่อการแก้ไขปัญหา น้ำเสียของฟาร์มสุกรได้หรือไม่ ในท้องตลาดมีหลายผลิตภัณฑ์ที่ให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรเลือกใช้ได้เช่นเดียวกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่นำเสนอออกมาว่า แหนแดงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการของการบำบัดทางชีวภาพ มีศักยภาพในการบำบัดทางชีวภาพสูงสำหรับ Cd, Cr, Cu และ Zn ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเกษตร (Kollah et al., 2016) การเจริญเติบโตทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกตกลง ซึ่งการใช้การบำบัดทางชีวภาพปัจจุบันเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากมีประสิทธิภาพดี ไม่มีสารพิษตกค้าง ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ และสิ่งแวดล้อม แหนแดงมีประโยชน์ในด้านการลดค่าสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง แหนแดงยังมีคุณประโยชน์นานับประการ เช่น การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพและช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อการปรับปรุงในผลผลิตพืช ใช้ในเกษตรอินทรีย์ ใช้ควบคุมวัชพืชในนาข้าวลดปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช ใช้เป็นอาหารสัตว์ และใช้ในการบำบัดทางชีวภาพ

การทำฟาร์มปศุสัตว์โดยใช้วิธีการทำเกษตรแบบยั่งยืน (Sustainable agriculture) น่าจะเป็นค่านิยมที่จะต้องยึดถือของการทำเกษตรในประเทศไทยต่อไป เพื่อเป็นแนวปฏิบัติทางการเกษตรที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นที่ยอมรับของสังคม ความยั่งยืนทางการเกษตรสามารถทำได้โดย

- (1) เพิ่มการผลิตเป็นธัญพืชอาหารเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากร
- (2) ลดปัจจัยการผลิตทางการเกษตรเพื่อลดต้นทุนของการผลิตของเกษตรกร
- (3) ลดสารอินทรีย์หรือสารเคมี การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน
- (4) การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ทรัพยากรน้ำเสียเพื่อการเกษตรและอื่น ๆ วัตถุประสงค์ที่เป็นประโยชน์เพื่อตอบสนองความเสี่ยงของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขาดแคลนน้ำ
- (5) แสวงหาเทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพเพื่อใช้ประโยชน์ที่ดิน/ที่รกร้างว่างเปล่าเพื่อการเกษตรและการใช้ประโยชน์ในด้านอื่น

(6) การใช้ที่ดินเสื่อมโทรมเพื่อการเกษตรผ่านเทคนิคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการฟุ้งกระจายของเสีย/ที่ดินเสื่อมโทรม และ

(7) ระบุกลยุทธ์เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเกษตร (Kollah et al., 2016)

ดังนั้นการหาวิธีที่จะเข้ามาช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรลดปัญหาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการเลี้ยง เพื่อให้มีคุณภาพผ่านมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงน่าจะเป็นประโยชน์เป็นอย่างมาก และชีวมวลจากແຫຼ່ງແຕ່ງທີ່เกิดขึ้นมีคุณค่าทางโภชนาการที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอื่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของແຫຼ່ງແຕ່ງจากພະແລ້ງໃນສູតຣາຫາຮາງແລ້ງທີ່ມີນ້ຳທັງຈາກຟາຣ໌ມສຸກຣ

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของແຫຼ່ງແຕ່ງที่ได้จากการພະແລ້ງໃນນ້ຳທັງຈາກຟາຣ໌ມສຸກຣ

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของແຫຼ່ງແຕ່ງจากນ້ຳທັງຈາກຟາຣ໌ມສຸກຣ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการเจริญเติบโตของແຫຼ່ງແຕ່ງ เมื่อພະແລ້ງແຫຼ່ງແຕ່ງໃນສູຕຣາຫາຮາງທີ່ມີນ້ຳທັງຈາກຟາຣ໌ມສຸກຣ 3 ແຫຼ່ງ ຄື ນ້ຳທັງຈາກຟາຣ໌ມສຸກຣພໍ່-ແມ່ພັນຮຸ້ ຟາຣ໌ມສຸກຣຂຸນທີ່ຜ່ານການບໍາບັດໂດຍระบบบ่อบำบัดเสีย และน้ำทิ้งจากຟາຣ໌ມສຸກຣຂຸນທີ່ຜ່ານການບໍາບັດໂດຍระบบไร้อากาศ ได้แก่ ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นทวีคูณ (Doubling time) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate: RGR) ปริมาณวัตถุแห้ง (% Dry matter basis, DM) และปริมาณเถ้า (Ash)

2. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของແຫຼ່ງແຕ່ງที่ได้จากการພະແລ້ງໃນນ້ຳທັງຈາກຟາຣ໌ມສຸກຣ ได้แก่ ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN), ปริมาณไขมัน (Crude Fat), ปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF), ปริมาณแคลเซียม (Calcium, Ca), ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus, TP) และปริมาณโพแทสเซียม (Potassium, TK)

3. ศึกษาความสามารถของของແຫຼ່ງແຕ່ງในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากຟາຣ໌ມສຸກຣ ตามมาตรฐานของกองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ 2564 ได้แก่ pH, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended Solids (SS), Total kjeldahl nitrogen (TKN), Total Phosphorus (TP) และ Total Potassium (TK)

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

ทฤษฎี : แຫຼ່ງແຕ່ງ (*Azolla* spp.) ເປັນຟີຣ໌ນນ້ຳຂາດເລັກພົບທັງໝົດໃນບຣີເວນນ້ຳນີ້ ມີຄຸນສົມບັດເປັນທັງປຸຍພືດ ປຸຍຊີວາພ ແລະອາຫາຣ໌ສັດ ເນື່ອງຈາກໃບຂອງແຫຼ່ງແຕ່ງມີສາຮາຢາຍສີເຂັ້ວແກຣມນ້ຳເຈີນ (Cyanobacteria) ອາດຢູ່ທີ່ສາມາດຮັກສາໂຕຣເຈນຈາກອາກາດໄດ້ ສາມາດດູດຊັບສາຣ

อนินทรีย์ และสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำได้ แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตที่เร็วและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง (Kaewsuralikhit et al., 2020) แหนแดงสามารถย่อยสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจนและธาตุอาหารให้กับพืชอื่นได้ (ภานุมาศ ถือธรรม, เกศศิริรินทร์ แสงมณี, และอิสระ ตั้งสุวรรณ, 2563) จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำแหนแดงมาใช้ในการกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียได้

1.5 สมมติฐาน

1. แหนแดงมีความสามารถในการเจริญเติบโตในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร 3 แหล่ง คือ ฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ ฟาร์มสุกรขุน และน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ผ่านกระบวนการบำบัดโดยระบบไร้อากาศ
2. แหนแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีคุณค่าทางโภชนาการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรด้านอื่นได้
3. แหนแดงมีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- 1.5.1 สูตรอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงแหนแดงจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร 3 แหล่ง คือ น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ ฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดโดยระบบบ่อปรับเสถียร และน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดโดยระบบไร้อากาศ
- 1.5.2 ทราบถึงอัตราการเจริญเติบโตของแหนแดงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรทั้ง 3 แหล่ง
- 1.5.3 ทราบถึงคุณค่าทางโภชนาการของแหนแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร 3 แหล่ง
- 1.5.4 ทราบถึงความสามารถของแหนแดงในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกร
- 1.5.5 เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อถ่ายทอดต่อไปยังผู้ประกอบการฟาร์มสุกร

พูน ปณ ทิโต ชีเว

บทที่ 2

ปรีทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

2.1.1 ชนิดของฟาร์มสุกร

การเลี้ยงสุกรในประเทศไทย สามารถจำแนกตามชนิดของสุกรและวัตถุประสงค์ของการเลี้ยงได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ การเลี้ยงแม่สุกรเพื่อผลิตลูก การเลี้ยงสุกรขุน การเลี้ยงสุกรหลายชนิดพร้อมกัน และการเลี้ยงสุกรแบบผสมผสาน

1) การเลี้ยงแม่พันธุ์สุกรเพื่อผลิตลูก

การเลี้ยงสุกรเพื่อผลิตลูกเป็นการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์เพื่อผลิตลูกสุกรและนำไปจำหน่ายให้กับเกษตรกรนำไปเลี้ยงเป็นสุกรขุนต่อไป การเลี้ยงสุกรเพื่อผลิตลูกนี้มักเป็นเกษตรกรที่มีความรู้และมีความชำนาญในการเลี้ยงสุกรบ้างแล้วพอสมควร

2) การเลี้ยงสุกรขุน

การเลี้ยงสุกรขุน เป็นกระบวนการเลี้ยงสุกรโดยการนำลูกสุกรที่หย่านมแล้วทั้งตัวผู้และตัวเมียมาทำการเลี้ยงโดยให้กินอาหารอย่างเต็มที่เป็นเวลาอีก 4-5 เดือน เพื่อเพิ่มน้ำหนักสุกรตามขนาดที่ต้องการ โดยเมื่อสุกรมีน้ำหนักระหว่าง 90-100 กิโลกรัมก็ขายส่งตลาดต่อไป

3) การเลี้ยงสุกรหลายชนิดพร้อมกัน

การเลี้ยงสุกรหลายชนิดพร้อมกันเป็นกระบวนการเลี้ยงสุกรเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตลูก ร่วมกับการเลี้ยงสุกรขุน การเลี้ยงสุกรแบบนี้เป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากการเลี้ยงแม่สุกรและพ่อพันธุ์ไว้ผลิตลูกทำให้ผู้ประกอบการสามารถเก็บลูกสุกรส่วนหนึ่งไว้สำหรับเลี้ยงเป็นสุกรขุนเพื่อส่งตลาดและขายลูกสุกรอีกส่วนหนึ่งเมื่อหย่านมแล้ว

4) การเลี้ยงสุกรในฟาร์มผสมผสาน

การเลี้ยงสุกรในฟาร์มแบบผสมผสานหมายถึงการเลี้ยงสุกรร่วมกับการเพาะปลูกหรือเลี้ยงสัตว์หลายชนิดควบคู่กัน ซึ่งเป็นการปฏิบัติที่เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันเนื่องจากให้ผลตอบแทนสูง ค่าใช้จ่ายต่ำ เกษตรกรได้ใช้ทรัพยากรและเวลาว่างของตนเองอย่างเต็มที่ ยกตัวอย่าง เกษตรกรที่ทำนา ทำสวนผักร่วมกับการเลี้ยงสุกรและการเลี้ยงปลา ก็สามารถใช้มูลของหมูเป็นอาหารปลาและนำไปใส่พืชผัก ส่วนเศษข้าวและรำ ข้าวรวมทั้งเศษพืชผักสามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์เป็นต้น

อัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสียจึงจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง (คณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2561)

2.1.2 ขนาดและการคำนวณประเภทการเลี้ยงสุกร

กรมควบคุมมลพิษมีการแบ่งขนาดของฟาร์มสุกรตามหน่วยปศุสัตว์เป็น 3 ระดับ คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

การเลี้ยงสุกรประเภท ก เป็นการเลี้ยงสุกรแต่ละชนิด (พ่อพันธุ์/แม่พันธุ์/สุกรขุน/ลูกสุกร) หรือเลี้ยงสุกรหลายชนิดรวมแล้วมีน้ำหนักรวมหน่วยปศุสัตว์เกินกว่า 600 หน่วย หรือเทียบเท่าการเลี้ยงสุกรขุนมากกว่า 5,000 ตัวขึ้นไป

การเลี้ยงสุกรประเภท ข เป็นการเลี้ยงสุกรแต่ละชนิด (พ่อพันธุ์/แม่พันธุ์/สุกรขุน/ลูกสุกร) หรือเลี้ยงสุกรหลายชนิดรวมแล้วมีน้ำหนักรวมหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 60 หน่วย แต่ไม่เกิน 600 หน่วย หรือเทียบเท่าการเลี้ยงสุกรขุนตั้งแต่ 500 – 5,000 ตัว

การเลี้ยงสุกรประเภท ค เป็นการเลี้ยงสุกรแต่ละชนิด (พ่อพันธุ์/แม่พันธุ์/สุกรขุน/ลูกสุกร) หรือเลี้ยงสุกรหลายชนิดรวมแล้วมีน้ำหนักรวมหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 6 หน่วย แต่ไม่เกิน 60 หน่วย หรือเทียบเท่าการเลี้ยงสุกรขุนตั้งแต่ 50 – 500 ตัว

ตารางที่ 1 ประเภทการเลี้ยงสุกรที่กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง

ประเภทการเลี้ยงสุกร	น้ำหนักรวมหน่วยปศุสัตว์ (นปส.)	เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน (ตัว)
ก	มากกว่า 600	มากกว่า 5,000
ข	ตั้งแต่ 60-600	ตั้งแต่ 500-5,000
ค	ตั้งแต่ 6-น้อยกว่า 60	ตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500

ที่มา : ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการ

ระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (2564)

น้ำหนักรวมหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย = น้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม

โดยที่	สุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์	น้ำหนักเฉลี่ย 170 กิโลกรัม
	สุกรขุน	น้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม
	และลูกสุกร	น้ำหนักเฉลี่ย 12 กิโลกรัม

วิธีการคำนวณน้ำหนักปศุสัตว์

น้ำหนักสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์

$$\frac{\text{จำนวนสุกร (ตัว)} \times 170}{500} = X$$

น้ำหนักสุกรขุน

$$\frac{\text{จำนวนสุกร (ตัว)} \times 60}{500} = Y$$

น้ำหนักลูกสุกร

$$\frac{\text{จำนวนสุกร (ตัว)} \times 12}{500} = Z$$

$$\text{น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์} = X+Y+Z$$

2.1.3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

กรมควบคุมมลพิษได้ดำเนินการปรับปรุงมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (ฉบับใหม่) โดยมาตรฐานฉบับนี้มีความแตกต่างจากฉบับเก่า โดยปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ BOD และ COD ให้มีความเข้มงวดขึ้น รวมทั้งเพิ่มค่า TP เพื่อควบคุมการระบายธาตุอาหารที่เป็นตัวก่อให้เกิดการสะสมของสาหร่ายในแหล่งน้ำ ซึ่งได้ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 138 ตอนพิเศษ 2 ง ญ วันที่ 4 มกราคม 2564 ทั้งนี้ให้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 5 มกราคม 2565 เป็นต้นไป โดยมีค่ามาตรฐานใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	
		ประเภท ก	ประเภท ข และ ค
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9	5.5-9
บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 80
ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250	ไม่เกิน 350
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 150	ไม่เกิน 200
ทีเคเอ็น (TKN)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 200
ฟอสฟอรัสรวม (TP)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5

ที่มา : ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (2564)

บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เป็นค่าที่บ่งบอกความสกปรก (สารอินทรีย์) ของน้ำซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมาย่อยสลายความสกปรกเหล่านี้ หากค่าบีโอดียิ่งสูงก็ยิ่งทำให้จุลินทรีย์ดึงออกซิเจนในน้ำมากขึ้น ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำอื่นๆ ที่ต้องการออกซิเจนต้องแย่งออกซิเจนกันจนทำให้น้ำเน่าเสียได้

ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) คือปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องใช้สำหรับทำปฏิกิริยาเคมี (Oxidation) กับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ COD เป็นอีกค่าหนึ่งที่ใช้บ่งบอกระดับความเน่าเสียหรือความสกปรกของน้ำ นิยมใช้ในการควบคุมน้ำเสียทั้งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากชุมชน โดยมักจะใช้ควบคู่กับ BOD

สารแขวนลอย (Suspended Solids, SS) เป็นค่าแสดงตะกอนที่แขวนลอยในน้ำ ถ้ามีตะกอนมากๆ จะเกิดการบดบังแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืชหรือ แพลงตอนเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ดังนั้นหากค่าสารแขวนลอยสูงก็มีส่วนทำให้น้ำเน่าเสียได้

ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) เป็นค่าแสดงความปนเปื้อนของไนโตรเจนในน้ำ ซึ่งกรณีฟาร์มหมูนั้น ไนโตรเจนมาจากมูลสัตว์ และหากมีไนโตรเจนในน้ำมากเกินไปจะทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยเฉพาะพืชน้ำ เช่น สาหร่าย เกิดการเจริญเติบโตมากเกินไปก็จะไปแย่งออกซิเจนกันอีก ทำให้เกิดน้ำเน่าเสียตามมา

ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) มีส่วนสำคัญต่อการเจริญของพืช ฟอสฟอรัสเป็นแหล่งอาหารของพืชน้ำหลายชนิดตามธรรมชาติ โดยเฉพาะสาหร่าย (Algae) และแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)

2.1.4 แหล่งกำเนิดและลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียที่ได้จากฟาร์มสุกรเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงสร้างปัญหาให้กับระบบนิเวศเป็นอย่างมาก (กรมปศุสัตว์, 2547) น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากการชะล้างทำความสะอาดคอกสุกรและโรงเรือนสุกร ซึ่งปนเปื้อนมูลปัสสาวะ และเศษอาหาร น้ำเสียจากฟาร์มสุกรประกอบด้วยน้ำ 65-85 เปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์ 10-25 เปอร์เซ็นต์ และสารอนินทรีย์ 10 เปอร์เซ็นต์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) โดยมีอัตราเฉลี่ยการเกิดน้ำเสียในช่วง 10-20 ลิตร/ตัว/วัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินปริมาณน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

กิจกรรม	ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลูกบาศก์เมตร/ตัว/วัน)		
	สุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์	สุกรขุน	สุกรอนุบาล
ล้างคอกและโรงเรือน	0.038	0.012	0.011
การระบายความร้อน	0.026	0.012	0.009
รวมปริมาณน้ำเสีย	0.064	0.024	0.02

ที่มา : คู่มือแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมจากฟาร์มสุกร สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2563)

น้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจาก 2 แหล่ง คือ

1. มูลที่มีกากของวัตถุดิบอาหารหลงเหลืออยู่
2. น้ำที่ล้างโรงเรือนหรือแม้แต่ที่ล้างตัวสุกรเองก็ตามซึ่งทั้งสองมีองค์ประกอบดังนี้

2.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น กากข้าวโพด กากถั่วเหลือง วัตถุดิบอาหารสัตว์หรือวัตถุดิบทดแทน ที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้อย่างสมบูรณ์ โดยสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกย่อยสลายได้ แต่ต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดสารเหล่านี้ได้

2.1 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุที่เกิดจากสัตว์ขับถ่ายออกมา หรือแม้แต่ตะกอน

ของสารเคมีที่มีการใช้ในฟาร์มเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วก็ยังคงหลงเหลือแร่ธาตุบางตัว เช่น คลอไรด์, ซัลเฟต อยู่ในฟาร์มเลี้ยงสุกรจึงทำให้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์และอนินทรีย์เข้มข้นสูง ดังนั้นอัตราการใช้น้ำ การเกิดน้ำเสียและค่าความสกปรกของน้ำเสียจึงขึ้นอยู่กับความสกปรกและวิธีการทำความสะอาดโรงเรือน สามารถจำแนกตามประเภทการเลี้ยงสุกร สุกรขุน ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกในรูป BOD ไนโตรเจนในรูป TKN และ SS สูงสุด ในขณะที่อัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน) ของกลุ่มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์มีอัตราการใช้น้ำและเกิดน้ำเสียสูงสุด เมื่อจำแนกตามขนาดฟาร์ม ฟาร์มขนาดใหญ่จะมีค่าความสกปรกในรูป BOD และ SS สูงสุดดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าความสกปรกของน้ำเสีย อัตราการใช้น้ำ และอัตราการเกิดน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง

พารามิเตอร์	หน่วย	ประเภทการเลี้ยงสุกร		
		สุกรพ่อ-แม่พันธุ์	สุกรอนุบาล	สุกรขุน
บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัม/ลิตร	800	2,500	3,500
ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัม/ลิตร	1,700	5,400	7,400
ไนโตรเจน (TKN)	มิลลิกรัม/ลิตร	350	350	700
สารแขวนลอย (SS)	มิลลิกรัม/ลิตร	900	3,000	4,700
อัตราการใช้น้ำ	ลิตร/ตัว/วัน	92	32	48
อัตราการเกิดน้ำเสีย	ลิตร/ตัว/วัน	64	20	24

ที่มา : คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร กรมควบคุมมลพิษ (2563)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของน้ำเสียตามขนาดของฟาร์มสุกร

ขนาดฟาร์ม	ลักษณะทางคุณภาพน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	BOD	COD	SS	TKN	TP
เล็ก	20	1,500	4,000	2,000	400	17
กลาง	15	2,500	6,800	3,000	540	9.5
ใหญ่	10	3,000	7,000	4,800	540	8.0

ที่มา : คู่มือแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมจากฟาร์มสุกร สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2563)

2.1.5 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดและคุณภาพน้ำทิ้ง

จากของเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มสุกรข้างต้น ส่งผลให้การบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกรนั้นนับเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง ระบบการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนั้นมีหลากหลาย การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัย ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

2.1.6 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ใช้ในประเทศไทย

ส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ดังนี้

1. ระบบรวบรวมน้ำเสีย คุณสมบัติของระบบรวบรวมน้ำเสียที่ดีต้องสามารถรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละวันได้, มีความลาดชันที่เหมาะสม, มีการแยกไม่ให้น้ำฝนปนเปื้อนลงไปในระบบ และมีการลบลุมเพื่อป้องกันการสะสมและการตกค้างของตะกอน

2. ระบบบำบัดขั้นต้น เป็นส่วนที่ปรับลักษณะน้ำเสียให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการบำบัดขั้นต่อไป แยกสิ่งของสกปรกออกด้วยกระบวนการทางกายภาพ เช่น การดักด้วยตระแกรงดักขยะ ดักกรวดทราย และการตกตะกอน

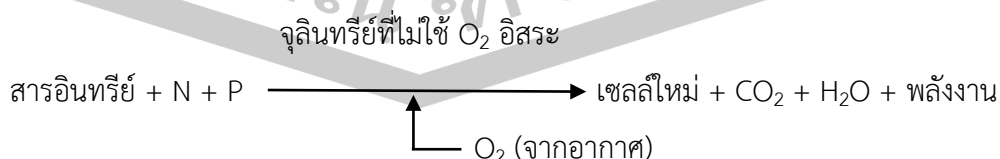
3. ระบบบำบัดขั้นที่สอง เพื่อเป็นการแยกและกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลายที่หลงเหลือจากการบำบัดขั้นต้น ซึ่งแยกได้เป็น

3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ (Non-Biogas system)

เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic wastewater treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องอาศัยออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) หรือ ออกซิเจนอิสระ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปฏิกริการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อากาศ (Aerobic bacteria) สามารถจำแนกได้เป็น 2 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 : เป็นกระบวนการนำสารอินทรีย์หรือสารอาหารเข้าไปในเซลล์ โดยจุลินทรีย์จะหลั่งเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มาเกาะติดที่ผนังเซลล์เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารโมเลกุลเล็กที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้

ขั้นตอนที่ 2 : เป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ และการสร้างเซลล์ใหม่ โดยเขียนอยู่ในรูปของสมการโดยรวมได้ ดังนี้



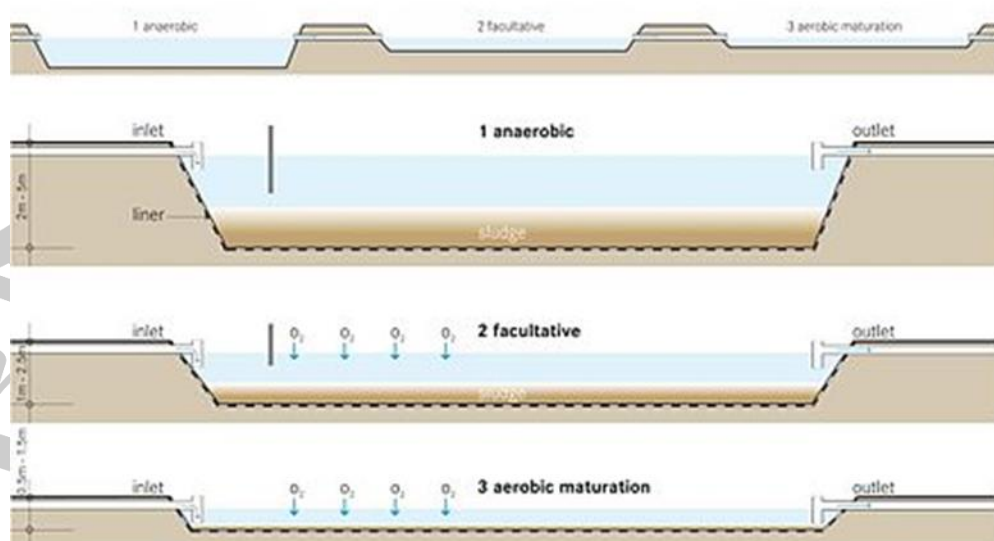
เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนรูปมาเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ จะรวมตัวกันเป็นฟล็อก (Biological flocculation) น้ำหนักมากขึ้น และแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายด้วยการตกตะกอน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ จำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1) ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบ (Suspended system) เช่น บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เป็นต้น

2) ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง หรือ ระบบฟิล์มตรึง (Fixed film system) เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor) เป็นต้น

รูปแบบของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศที่นิยมใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทย ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 รูปแบบ คือ บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond) บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) และหากมีบ่อหลายบ่อต่อเนื่องกัน บ่อสุดท้ายจะทำหน้าที่เป็นบ่อบ่ม (Maturation Pond) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม บ่อปรับเสถียรสามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานผลิตอาหาร โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น และเป็นระบบที่มีค่าก่อสร้างและค่าดูแลรักษาต่ำ วิธีการเดินระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน ผู้ควบคุมระบบไม่ต้องมีความรู้สูง



รูปที่ 1 บ่อปรับเสถียร (Wastewater Stabilization Ponds)

ที่มา : สำนักงานพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ (2565)

แต่ต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างมากจึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับชุมชนที่มีพื้นที่เพียงพอและราคาไม่แพง ซึ่งโดยปกติระบบบ่อปรับเสถียรจะมีการต่อกันแบบอนุกรมอย่างน้อย 3 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 1

บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond)

บ่อแอนแอโรบิกเป็นระบบที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงโดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน บ่อนี้ออกแบบให้มีอัตรารับสารอินทรีย์สูงมาก จนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวน้ำไม่สามารถผลิตและป้อนออกซิเจนได้ทัน ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนละลายน้ำภายในบ่อ จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งสูง เนื่องจากของแข็งจะตกลงสู่ก้นบ่อและถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก น้ำเสียส่วนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อนี้จะระบายต่อไปยังบ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond) เพื่อบำบัดต่อไป การทำงานของบ่อแบบนี้ ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ดังนั้นอุณหภูมิของบ่อควรมากกว่า 15 องศาเซลเซียส และค่าพีเอช (pH) มากกว่า 6

บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond)

บ่อแฟคัลเททีฟเป็นบ่อที่นิยมใช้กันมากที่สุด ภายในบ่อมีลักษณะการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิก ได้รับออกซิเจนจากการถ่ายเทอากาศที่บริเวณผิวน้ำและจากการสังเคราะห์แสงของ สาหร่าย และส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนแอโรบิก บ่อแฟคัลเททีฟนี้โดยปกติรับน้ำเสียจากที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อน

กระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นในบ่อแฟคัลเททีฟ เรียกว่า การทำความสะอาดตัวเอง (Self-Purification) สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เพื่อเป็นอาหารและสำหรับการสร้างเซลล์ใหม่และเป็นพลังงาน โดยใช้ออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่อยู่ในบ่อส่วนบน สำหรับบ่อส่วนล่างจนถึงก้นบ่อซึ่งแสงแดดส่องไม่ถึง มีปริมาณออกซิเจนต่ำ จนเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Condition) และมีจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นก๊าซเช่นเดียวกับบ่อแอนแอโรบิก แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อ ทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตาม ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบสูงเกินไปจนออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอ เมื่อถึงเวลากลางคืนสาหร่ายหายใจเอาออกซิเจนและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดต่ำลง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำลงจนอาจเกิดสภาวะขาดออกซิเจน และเกิดปัญหากลิ่นเหม็นขึ้นได้

บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond)

บ่อแอโรบิกเป็นบ่อที่มีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่ เป็นบ่อที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อให้ออกซิเจนกระจายทั่วทั้งบ่อและมีสภาพ เป็นแอโรบิกตลอดความลึก โดยอาศัยออกซิเจนจาก

การสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และการเติมอากาศที่ผิวหน้า และยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ส่วนหนึ่ง โดยอาศัยแสงแดดอีกด้วย

บ่อบ่ม (Maturation Pond)

บ่อบ่มมีสภาพเป็นแอโรบิคตลอดทั้งบ่อ จึงมีความลึกไม่มากและแสงแดดส่องถึงก้นบ่อใช้รองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว เพื่อพอกน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำดีขึ้น และอาศัยแสงแดดทำลายเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งก่อน ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรที่นิยมใช้กันจะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้

1. บ่อแอนแอโรบิค (ส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีที่น้ำเสียมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ๆ เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม)
2. บ่อแฟคัลเททีฟ
3. บ่อแอโรบิค และ
4. บ่อบ่ม โดยต่อกันแบบอนุกรม

3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ (Biogas system)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกาศ (Anaerobic wastewater treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์อาศัยสารประกอบอินเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) หรือออกซิเจนอิสระ กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศหรือออกซิเจน สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้

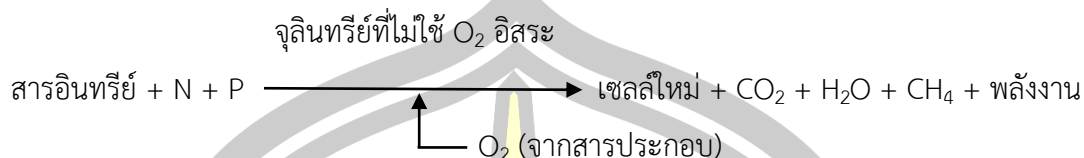
ขั้นตอนที่ 1 : เป็นกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยอาศัยเอนไซม์ (Enzyme) ที่ถูกส่งออกมาออกเซลล์ เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก

ขั้นตอนที่ 2 : เป็นกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) โดยแบคทีเรียสร้างกรด ซึ่งจะเปลี่ยนผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid; VFA)

ขั้นตอนที่ 3 : เป็นกระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis) โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนกรดไขมันระเหย ไปเป็นผลผลิตสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน

ขั้นตอนที่ 4 : เป็นกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) โดยผลผลิตที่ได้จากแบคทีเรียสร้างกรดในขั้นตอนที่ 3 ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนนี้ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ชนิดแรก คือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic bacteria) โดยได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และได้พลังงานจากไฮโดรเจน ชนิดที่สอง คือ แบคทีเรียที่สร้าง

มีเทนจากกรดอะซิติก (Acetotrophic bacteria) ซึ่งใช้อะซิเตตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการโดยรวมได้ ดังนี้

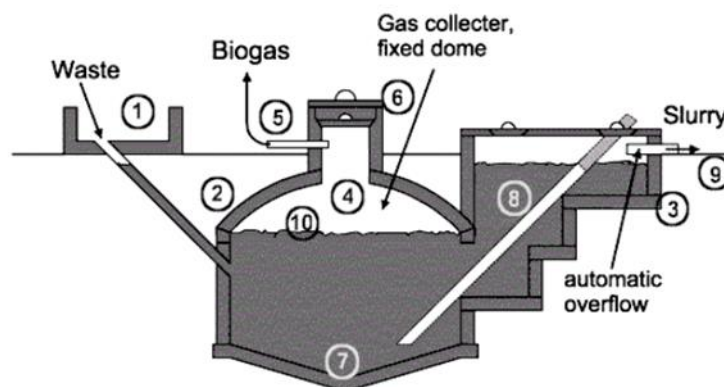


จากกลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้ง 4 ขั้นตอน สรุปได้ว่า ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สร้างกรด และกลุ่มที่สร้างมีเทน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่องของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่ม หากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งเปลี่ยนไป มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้ เช่น กรณีที่ระบบได้รับสารอาหารหรือปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น มีการสร้างกรดอินทรีย์และผลผลิตต่าง ๆ เพิ่มขึ้นส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนซึ่งมีความสามารถในการเจริญเติบโตต่ำกว่า ไม่สามารถย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้ทัน ปริมาณกรดอินทรีย์สะสมเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าระบบไม่มีปริมาณบัฟเฟอร์เพียงพอ ค่า pH ของระบบที่ลดลงส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน จนอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง หรือการทำงานของระบบล้มเหลวได้ในที่สุด

รูปแบบของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่นิยมใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทย ได้แก่

3.2.1 ระบบบ่อโดมคงที่ (Fixed dome) เป็นแบบที่คิดค้นขึ้นในประเทศจีน บ่อจะสร้างด้วยคอนกรีตฝังอยู่ในดิน มีท่อเพื่อเติมมูลสัตว์และท่อให้มูลสัตว์ไหลออก ส่วนเก็บก๊าซสร้างด้วยคอนกรีตติดกับบ่อหมัก ดังแสดงในรูปที่ 2 มีระยะเวลาการกักเก็บ 6-7 วัน ซึ่งแรงดันของก๊าซไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซที่เกิดภายในบ่อ เหมาะสำหรับฟาร์มที่มีขนาดเล็ก ใช้เงินลงทุนไม่สูงมาก ต้องใช้ช่างที่มีความเชี่ยวชาญในการก่อสร้าง รูปแบบการทำงานของระบบบ่อโดมคงที่ดังแสดงในรูปที่ 2

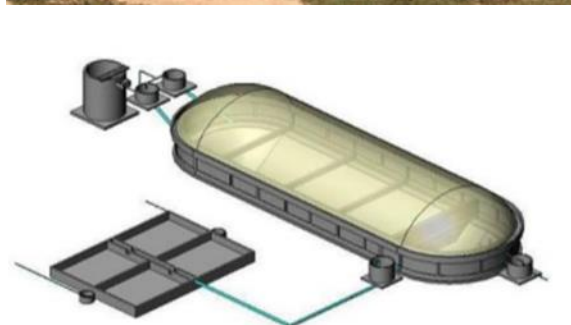
พูน ปณ จิต ชีเว



รูปที่ 2 ระบบบ่อโดมคงที่ (Fixed dome)

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2556)

3.2.2 บ่อหมักราง (Channel digester) เป็นบ่อคอนกรีตที่มีรูปร่างยาวคล้ายรางหรือคลองส่งน้ำบนบ่อหมักมีพลาสติกคลุมเพื่อใช้เก็บก๊าซชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ในดิน มีท่อเติมมูลและท่อนำมูลออกอยู่ทางหัวและท้าย บ่อเนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บก๊าซ (ดังแสดงในรูปที่ 3) ดังนั้นจึงมีแรงดันก๊าซค่อนข้างต่ำจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มแรงดันเพื่อนำก๊าซไปใช้งาน มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียอย่างน้อย 7 วันขึ้นไป

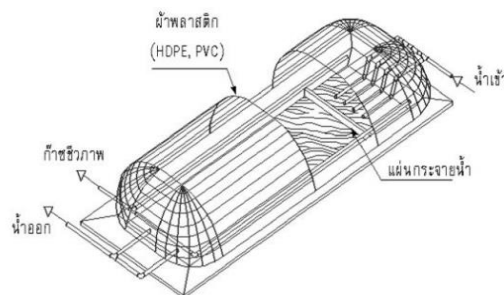


รูปที่ 3 บ่อหมักราง (Channel digester)

ที่มา : สำนักงานพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปุ๋ยสัตว์ (2565)

3.2.3 บ่อคลุมแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Covered lagoon) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดหนึ่ง ที่อาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนจากอากาศ หรือที่เรียกว่า Anaerobic

bacteria ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะไร้อากาศ จากโครงสร้างบ่อที่เป็นระบบปิด ซึ่งคลุมด้วยแผ่นวัสดุที่มีความยืดหยุ่น และกันน้ำ เพื่อทำหน้าที่สร้างสภาวะไร้อากาศ และช่วยกักเก็บก๊าซจากระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรีย มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียอย่างน้อย 7 วันขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 บ่อคลุมแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Covered lagoon)

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2556)

4. ระบบการจัดการกากตะกอน รูปแบบที่นิยมใช้คือ ลานตากตะกอนทั้งแบบที่มีหลังคาและไม่มีหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ลานตากตะกอนแบบที่มีหลังคาและไม่มีหลังคา

ที่มา : สำนักงานพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ (2565)

5. ระบบบำบัดขั้นหลัง ได้แก่ ระบบบ่อฝิ่งแบบผสมหรือระบบบึงประดิษฐ์ ดังแสดงในรูปที่ 6



บ่อฝิ่ง



บ่อผักตบชวา



บ่อปรับสภาพน้ำ



บ่อปิ้งประดิษฐ์

รูปที่ 6 บ่อฝังแบบผสมหรือระบบบึงประดิษฐ์

ที่มา : สำนักงานพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปุ๋ย (2565)

ระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระบบบ่อฝังและระบบบ่อไร้อากาศซึ่งโดยธรรมชาติของระบบนี้เกิดกระบวนการทางชีวเคมีที่เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนภายในบ่อดังนั้นความสามารถในการกำจัด BOD และ COD จึงสูงกว่าพารามิเตอร์อื่นๆ ในขณะที่กระบวนการกำจัดไนโตรเจนสำหรับระบบนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นไม่ค่อยสมบูรณ์ เนื่องจากกระบวนการกำจัดไนโตรเจนมักเกิดในสภาวะมีอากาศ แต่ระบบที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบกึ่งไร้อากาศหรือไร้อากาศจึงสามารถลดปริมาณไนโตรเจนได้เพียงบางส่วนเท่านั้น คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกับมาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบเพียงพารามิเตอร์เดียวคือ ค่า pH ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของฟาร์ม (คณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2561)

2.2 การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (Heavy metal)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท สารหนู เป็นสารที่มีอัตราการสลายตัวค่อนข้างช้า ทำให้สะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานเป็นมลพิษทางน้ำ มนุษย์จะรับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายโดยการบริโภค น้ำ พืชผัก สัตว์น้ำ เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา สาหร่าย เป็นต้น จากการกินตามห่วงโซ่อาหาร โลหะหนักเป็นอันตรายในอาหาร (Food hazard) ประเภทอันตรายทางเคมี (Chemical hazard) จึงเกิดการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อสัตว์และเนื้อเยื่อพืช โดยสะสมสารมลพิษเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นการบริโภค แหล่งและความเป็นพิษของโลหะหนักมีดังนี้

2.2.1 ตะกั่ว (Lead, Pb)

ตะกั่วเป็นโลหะหนักมีสีเทาเงินหรือแกมม่น้ำเงิน ใช้ในการทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ทำให้เกิดการปลดปล่อยตะกั่วและสารประกอบของตะกั่วในรูปของสารมลพิษออกสู่สภาวะแวดล้อม ทำให้มีการปนเปื้อนของตะกั่วทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะจับยึด

อยู่กับเม็ดเลือดแดง ลดการสร้าง Heme ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเม็ดเลือดแดงโดยยับยั้ง เอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง Heme นอกจากนี้ ตะกั่วยังมีผลต่อดับ หัวใจและเส้นเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ โครโมโซม และก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และความพิการแต่กำเนิด

2.2.2 แคดเมียม (Cadmium, Cd)

แคดเมียมเป็นโลหะมีสีเงิน มีอยู่น้อยตามธรรมชาติ โดยทั่วไปแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมพบในแหล่งทำเหมืองสังกะสี และตะกั่ว ในอุตสาหกรรม ยาสูบและบุหรี่ พลาสติกและยาง นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสม อะไหล่รถยนต์ แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อาหาร เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ และสะสมเพิ่มขึ้นในปริมาณสูงจะทำให้เกิดมะเร็ง ไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูกสันหลังแขนขา ซึ่งจะทำให้ไตพิการ ไต โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า “โรคอิไต-อิไต”

2.2.3 พรอท (Mercury, Hg)

ปรอทเป็นโลหะหนักที่อยู่ในรูปของเหลวระเหยเป็นไอได้ง่ายในภาวะปกติ ลักษณะภายนอกมีสีเงินสามารถไหลได้ พบมากในแหล่งที่มีการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิง โลหะ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ในอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารประกอบของปรอท นอกจากนี้ยังใช้ในวงการแพทย์ เช่น เป็นสารอุดฟัน ไอปรอทที่เข้าสู่ร่างกาย ดูดซึมเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตทันที และกระจายไปยังสมองและส่วนอื่นของร่างกายได้รวดเร็ว การได้รับสารปรอทสะสมเป็นเวลานานจะทำให้มีอาการมือ และใบหน้าเกิดอาการบวมและเจ็บ บางคนอาจเกิดอาการเหน็บชาบางส่วนจนเป็นอัมพาต โรคที่เกิดจากปรอท เรียกว่า “โรคมินามาตะ”

2.2.4 สารหนู (Arsenic, As)

สารหนูเป็นธาตุเคมีชนิดหนึ่งที่พบได้ตามธรรมชาติหรือเป็นสารที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่วนใหญ่พบในกระบวนการทำเหมืองแร่ การหลอมแร่ รวมทั้งการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจึงนิยมใช้เป็นยาเบื่อหนู และเป็นที่มาของชื่อ "สารหนู" ในภาษาไทย โดยสารหนูแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ เป็นชนิดที่มักพบในวงการอุตสาหกรรม การผลิตวัสดุ และอาจพบในน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูด้วย ซึ่งสารหนูชนิดนี้มีพิษสูงและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวได้ สารประกอบอินทรีย์ เป็นสารหนูที่พบได้ตามธรรมชาติ และอาจปนเปื้อนในอาหารบางชนิด เช่น ปลา สัตว์น้ำที่มีเปลือก เป็นต้น เป็นพิษน้อยกว่าสารหนูชนิดสารประกอบอินทรีย์ การบริโภคอาหารหรือน้ำดื่มที่ปนเปื้อนสารชนิดนี้ในปริมาณมากเกินไป ตลอดจนการสูดหายใจหรือสัมผัสทางผิวหนังจะทำลายระบบทางเดินอาหารและส่วนอื่นของร่างกาย และในที่สุดถึงแก่ความตาย

2.2.5 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ตามประกาศของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม เล่ม 133 ตอนพิเศษ 129 ง วันที่ 6 มิถุนายน 2559 ฟาร์มสุกรจัดเป็นกิจการที่มีความจำเป็นในการจัดการบำบัดและระบายน้ำเสียก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน จึงกำหนดค่ามาตรฐานค่าโลหะหนักในน้ำเสียดังนี้

ตะกั่ว	ไม่เกิน 0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม	ไม่เกิน 0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท	ไม่เกิน 0.005	มิลลิกรัมต่อลิตร
สารหนู	ไม่เกิน 0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.6 ค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหารสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

จากรายงานของวริยนิดา และคณะ, 2558 ได้นำเสนอข้อมูลผลการวิเคราะห์อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรและในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรพบว่าปริมาณโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม เล่ม 133 ตอนพิเศษ 129 ง วันที่ 6 มิถุนายน 2559 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหารสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

โลหะหนัก	แหล่งการปนเปื้อน						ค่ามาตรฐาน (mg/L)
	อาหารสุกร (mg/Kg)		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (mg/L)		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (mg/L)		
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
ตะกั่ว	0.0000	0.0000	0.0000	0.0464	0.0000	0.0472	0.2
แคดเมียม	0.0000	0.0000	0.0007	0.0063	0.0000	0.0141	0.03
ปรอท	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0035	0.005
สารหนู	0.0000	0.0000	0.0000	0.0330	0.0000	0.0598	0.25

ที่มา : Wiwanthamongkon et al. (2015) และผลวิเคราะห์อาหารสุกรในเครือข่ายโคโรประจำปี (2566)

2.3 แหนแดง

2.3.1 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

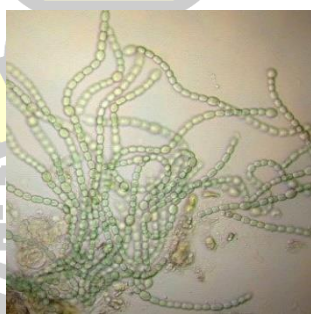
Kingdom: Plantae
 Division: Pteridophyta
 Class: Pteridopsida
 Order: Salviniaceae
 Family: Azollaceae Wettst.
 Genus: Azolla Lam.

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Azolla* spp.

ชื่อสามัญ : Azolla

ชื่อท้องถิ่น : แหนแดง, แหนเป็ดใหญ่

แหนแดง เป็นพืชขนาดเล็ก ตระกูลเฟิร์นลอยน้ำ พบเจริญเติบโตอยู่บนผิวน้ำในที่ที่มีน้ำขังนิ่ง อาทิ บ่อน้ำ บึง พื้นที่ชุ่มน้ำหรือที่ที่มีน้ำแช่ขังตลอดปีในเขตร้อนและอบอุ่นทั่วไป ต้นอ่อนหรือต้นที่ได้รับแสงไม่เต็มที่จะเป็นสีเขียว ต้นแก่ที่ได้รับแสงเต็มที่จะเป็นสีแดงคล้ำ แตกกิ่งแบบขนนก รากเป็นรากพิเศษยาวอยู่ทางด้านใต้ของลำต้น ทั้งต้นและกิ่งมีใบขนาดเล็กปกคลุม เรียงสลับซ้อนกัน ใบแต่ละใบแบ่งเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ส่วนบนหนา สีเขียวหรือสีแดง ส่วนล่างบางอยู่ใต้น้ำ ไม่ค่อยมีสีเขียว ใบล่างสุดสร้าง Sporocarp 2-4 อัน ที่แกนของใบด้านใต้ใบภายในมีเมกะสปอร์ และไม่โครสปอร์ในใบของแหนแดงมีโพรงขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นที่อาศัยของ Anabena ซึ่ง เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Anabena จะได้รับสารอาหารจากแหนแดง



รูปที่ 7 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโพรงใบแหนแดง

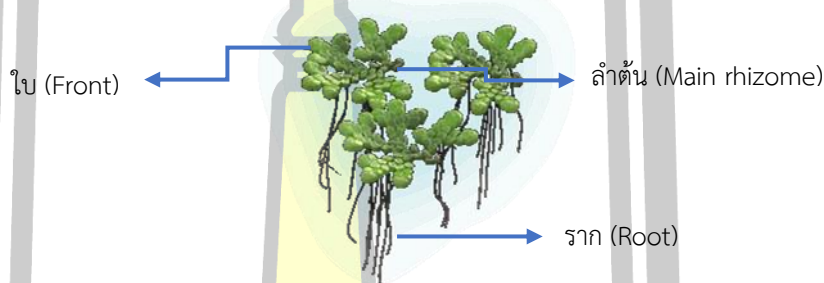
ที่มา : เทคโนโลยีชาวบ้าน (2565)

ส่วนแหนแดงจะได้ไนโตรเจนจากการตรึงไนโตรเจนของ Anabena องค์ประกอบที่สำคัญในแหนแดงได้แก่ มีไนโตรเจนสูง โปรตีนไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน และเซลลูโลส แร่ธาตุ แหนแดงต้องการธาตุอาหารหลักที่สำคัญได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุโปแตสเซียม และจุลธาตุที่สำคัญ

ได้แก่ เหล็ก และ โมลิบดีนัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ไนโตรจีเนส ในการตรึงไนโตรเจน (ประยูร สวัสดิ์ และบรรหาร แต่งจำ, 2545)

ต้นแหนแดงที่เห็นอยู่ทั่วไปจัดอยู่ในระยะสปอโรไฟต์ (Sporophyte) ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 ดังนี้

ลำต้น (Main rhizome) มีลักษณะเป็นลำต้นสั้น ๆ แบบไรโซม (Rhizome) แตกกิ่งออกสองข้างแบบสลับ แผ่ขนานกับพื้นน้ำ ภายในลำต้นมีระบบท่อลำเลียง ประกอบด้วยกิ่งแขนงเล็ก ๆ แตกกิ่งออกด้านข้างเรียงสลับกันไป โดยกิ่งแขนงเล็ก ๆ แยกออกไปเป็นกิ่งแขนงย่อยอีกหลายชั้นขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของแหนแดง และเมื่อกิ่งแก่ กิ่งแขนงย่อยจะหลุดออกจากลำต้นและเกิดเป็นต้นใหม่



รูปที่ 8 โครงสร้างของแหนแดง

ที่มา : Bujak Jonathan (2020)

ราก (Root) รากของแหนแดงเป็นรากพิเศษยาวอยู่ใต้ลำต้น เกิดตรงข้อด้านล่างของลำต้นที่งัดลงไปในส่วนของปลายรากที่ยังอ่อนจะมีหมวกราก (Root cap) หุ้มอยู่และจะหลุดออกเมื่อรากเจริญเต็มที่และมีรากขนอ่อนขึ้นแทนที่โดยรากขนอ่อนนี้เกิดจากการแบ่งของเซลล์ที่อยู่ตัวรอบ ๆ เซลล์ Epidermal

ใบ (Front) มีขนาดเล็กเป็นใบประกอบ ขอบใบเรียบไม่มีก้านใบ มีใบย่อย 7 – 10 ใบ เรียงสลับซ้อนกันอยู่ใบย่อยแต่ละใบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กาบใบบน (Dorsal lobe) และกาบใบล่าง (Ventral lobe) ทั้งสองกาบมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยกาบใบบนซึ่งอยู่บนผิวน้ำ มีสีเขียวเมื่อยังอ่อนและเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อแก่หรือเมื่อได้รับแสงแดดจัดเกินไป และมีโพรงใบรูปไข่ตรงกึ่งกลางด้านหลัง ซึ่งเป็นที่อาศัยของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ส่วนกาบใบล่างมีลักษณะบางและขนาดใหญ่กว่ากาบใบบนเล็กน้อยมีคลอโรฟิลล์น้อยมากจนเกือบไม่มีเลย ทำหน้าที่สร้างสปอร์โรคาร์ป และเฮเทอโรสปอร์เป็นทุนให้แหนแดงลอยน้ำได้ รวมทั้งนำน้ำเข้าสู่ลำต้นแทนราก (Kaewsuralikhit et al., 2020b)

2.3.2 สายพันธุ์ของแหนแดง

แหนแดงที่พบอยู่ทั่วโลกมีอยู่ด้วยกัน 7 ชนิด (Species) คือ *Azolla nilotica*, *A. pinnata*,

A. caroliniana, *A. filiculoides*, *A. mexicana*, *A. rubra* และ *A. microphylla* ในประเทศไทย มักพบเห็นแดง 2 สายพันธุ์คือ อะซอลล่า พินนาต้า (*Azolla pinnata*) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จีน อินเดีย และออสเตรเลีย ซึ่งเป็นสายพันธุ์ท้องถิ่นที่แพร่กระจายอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ และสายพันธุ์อะซอลล่า ไมโครฟิลลล่า (*Azolla microphylla*) ที่มีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่บริเวณเขตร้อนของอเมริกาตั้งแต่ด้านทิศตะวันตก และทิศเหนือของอเมริกาใต้ ถึงด้านใต้ของอเมริกาเหนือ และ West Indies ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตร นำเข้ามาเพื่อคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์จนได้เห็นแดงพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่ มีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว สามารถตรึงไนโตรเจนได้มากกว่าสายพันธุ์ท้องถิ่น โดยกรมวิชาการเกษตรได้เริ่มทำการวิจัยค้นคว้าเรื่องเห็นแดงมาตั้งแต่ ปี 2520 และได้มีการเก็บรักษาพันธุ์มาอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อประเทศไทยหันมาส่งเสริมเรื่องการทำเกษตรอินทรีย์ เห็นแดงของกรมวิชาการเกษตรจึงได้ถูกนำมาพัฒนาการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์อีกครั้งหนึ่งในปี 2540 เป็นต้นมา โดยเห็นแดงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่ม *Euazolla*

เป็นกลุ่มเห็นแดงที่มีขนปกคลุมบนใบ สปอร์เพศเมียมีฟูลอย 3 อัน ส่วนสปอร์เพศผู้ไม่มีหนามแหลมปกคลุม และปลายสปอร์มีตะขอกคล้ายหัวลูกศร มีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่

- *Azolla microphylla* Kaulfuss พบในแถบประเทศในทวีปอเมริกา
- *Azolla filiculoides* Lamark พบในแถบประเทศในทวีปอเมริกาใต้ อเมริกาเหนือ และอลาสก้า
- *Azolla rubra* R.Brown พบในแถบประเทศในทวีปออสเตรเลีย และเอเชียในแถบประเทศญี่ปุ่น และเกาหลี
- *Azolla mexicana* Presl พบในแถบประเทศทางตอนเหนือ ของทวีปอเมริกาใต้ และทางทิศตะวันตกของทวีปอเมริกาเหนือ
- *Azolla cololiniana* Willdenow พบในแถบประเทศทางตะวันออกของอเมริกาเหนือ และแถบทะเลคาริบเบียน

2. กลุ่ม *Rhizospenna*

เป็นกลุ่มเห็นแดงที่มีขนปกคลุมทั้งบนใบ และตามลำต้น มีทั้งหมด 2 ชนิด ที่พบในแถบประเทศเอเชีย และออสเตรเลีย ได้แก่

- *Azolla pinnata* var. *pinnata* (เห็นแดงเพียงชนิดเดียวที่พบในไทย)
- *Azolla pinnata* var. *imbricate*

1. *Azolla nilotica* Decne. ex Mett.



รูปที่ 9 แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla nilotica* Decne. ex Mett.

ที่มา : Keir Morse (2003)

Azolla nilotica Decne. ex Mett. เป็นแหนแดงที่มีถิ่นกำเนิดในแม่น้ำไนล์และตะวันออกของแอฟริกา ตั้งแต่ชูดานใต้ และชูดานใต้ไปจนถึงสาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก กาบอง รวันดา บุรุนดี ยูกันดา เคนยา แทนซาเนีย มาลาวี โมซัมบิก แซมเบีย และซิมบับเว เป็นเฟิร์นลอยน้ำที่มีความยาวสูงสุด 32 เซนติเมตร (13 นิ้ว) มีเหง้ายาวตามแนวนอน แตกแขนง มีขนหนาดัง 2 มิลลิเมตร (0.079 นิ้ว) กิ่งด้านข้างถูกตั้งค้ำสลับกัน รากที่มีขนดกจะงอกออกมาจากโหนดใบเป็นใบประกอบ กลีบใบสีเขียวรูปไข่กว้างถึง 2 มิลลิเมตร (0.079 นิ้ว) ปลายใบอาจจะมนหรือแหลม กลีบล่างไม่มีสี มีขนาดเล็กกว่าทินเนอร์ ในกระเปาะใบจะมีไซยาโนแบคทีเรีย *Anabaena azollae* ที่ช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศไปใช้ในการเจริญเติบโต มีสปอร์สองประเภท (เรียกว่า Hetero-sporous) มาโครสปอร์และไมโครสปอร์ อวัยวะที่สร้างสปอร์เรียกว่า Sporocarps ที่อยู่ในซอกใบ ในกรณีของ *A. nilotica*, Sporocarps อาจประกอบด้วย Macrosporocarps และกลุ่ม Microsporocarps (หรือ Massulae) รวมกัน ดังแสดงในรูปที่ 9

2. *Azolla pinnata* R.Br.

Azolla pinnata R.Br. เป็นแหนแดงที่มีถิ่นกำเนิดในแอฟริกา, เอเชีย ได้แก่ บรูไนดารุสซาลาม, จีน, อินเดีย, ญี่ปุ่น, เกาหลีและฟิลิปปินส์ และบางส่วนของออสเตรเลีย เป็นเฟิร์นขนาดเล็กที่มีเพ็ญรูปสามเหลี่ยมยาวได้ถึง 2.5 เซนติเมตรซึ่งลอยอยู่บนน้ำ ใบประกอบขึ้นจากใบมนหรือหับซ้อนกันหลายใบ แต่ละใบยาว 1 หรือ 2 มิลลิเมตร มีสีเขียว น้ำเงิน-เขียว หรือสีแดงเข้มและเคลือบด้วยขนเส้นเล็ก ทำให้พื้นผิวด้านบนของใบไม่ซับน้ำ ทำให้ลอยน้ำได้แม้ถูกกดลงไป รากที่มีลักษณะเป็นขนยื่นลงไปใต้น้ำ ในกระเปาะใบจะมีไซยาโนแบคทีเรีย *Anabaena azollae* ที่ช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังแสดงในรูปที่ 10

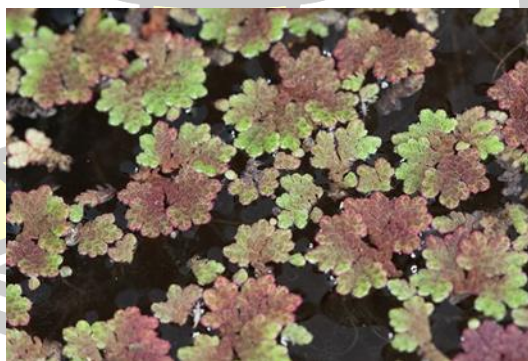


รูปที่ 10 แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla pinnata* R.Br.

ที่มา : L.R. Perrie & Leon Perrie (2013)

3. *Azolla caroliniana* Willd.

Azolla caroliniana Willd. เป็นเฟิร์นน้ำที่มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาเหนือ ตะวันออก จากทางใต้ของออนแทรีโอ และจากชายฝั่งตะวันออกถึงวิสคอนซินตะวันตก เท็กซัส และแถบทะเลแคริบเบียน และในอเมริกากลางและอเมริกาใต้จากเม็กซิโกตะวันออกเฉียงใต้ (เชียปัส) ทางใต้ไปจนถึงตอนเหนือของอาร์เจนตินา กานา, เยอรมนี, เนเธอร์แลนด์, รัสเซีย, แอลเบเนีย, อาเซอร์ไบจาน, อุรุกวัย และไต้หวัน เป็นเฟิร์นน้ำจืด มีใบคล้ายเกล็ดยาว 5-10 มิลลิเมตร มีสีเขียวถึงแดง ส่วนใหญ่จะออกสีแดงเมื่อได้รับแสงจ้าและในฤดูหนาว พวกมันถูกปกคลุมด้วยส่วนที่ยื่นออกมาเล็ก ๆ ที่เรียกว่า Trichomes ซึ่งทำให้มันดูเหมือนกำมะหยี่ สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศโดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย สามารถอยู่รอดได้ในอุณหภูมิน้ำในฤดูหนาวที่ 5 องศาเซลเซียส โดยมีการเติบโตในฤดูร้อนที่เหมาะสมระหว่าง 25–30 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla caroliniana* Willd.

ที่มา : Heather Sullivan & Alan Holditch (2010)

4. *Azolla filiculoides* Lam.

Azolla filiculoides Lam. เป็นเฟิร์นน้ำที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่นและเขตร้อนของทวีปอเมริกา รวมทั้งเอเชีย และออสเตรเลีย เป็นเฟิร์นน้ำลอยน้ำที่มีการเจริญเติบโตเร็วมากสามารถแพร่กระจายครอบคลุมน้ำเต็มพื้นที่ในเวลาเพียงไม่กี่เดือน แต่ละต้นมีความกว้าง 1-2 เซนติเมตร มีสี

ชมพูอมเขียว ส้มหรือแดง สามารถแตกกิ่งก้านสาขาได้อย่างอิสระและแตกเป็นส่วนเล็ก ๆ เมื่อโตขึ้นไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่หนาวเย็นได้ ส่วนใหญ่จะตายในฤดูหนาวโดยมีชีวิตรอดด้วยตาที่จมอยู่ใต้น้ำ ซึ่งมีสิ่งมีชีวิต Diazotrophic *Nostoc azollae* ไว้ในกระเปาะใบเพื่อใช้ในกระบวนการ Symbiosis เพื่อตรึงไนโตรเจนในอากาศไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla filiculoides* Lam.

ที่มา : Forest & Kim Starr (2007)

5. *Azolla mexicana* Presl

Azolla mexicana เป็นเฟิร์นน้ำที่มีถิ่นกำเนิดในเม็กซิโก อังกฤษ โคลัมเบีย และทางตะวันตกของสหรัฐอเมริกา (แคลิฟอร์เนีย โอเรกอน วอชิงตัน แอริโซนา นิวเม็กซิโก เท็กซัส ยูทาห์ และเนวาดา) มีใบสีเขียวอมน้ำเงินถึงแดงเข้ม มีความแตกต่างจากอีก 2 สายพันธุ์ในสกุลอเมริกาเหนือ ได้แก่ *Azolla caroliniana* และ *Azolla filiculoides* โดยจะมีขนบนใบและมีรูบน Megaspores ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla mexicana* Presl

ที่มา : Ryan Batten (2018)

6. *Azolla rubra* R.Brown

Azolla rubra R.Brown เป็นเฟิร์นน้ำที่มีถิ่นกำเนิดในนิวซีแลนด์: เคอร์มาเดค (เกาะราอูล) หมู่เกาะเหนือและใต้ แพร่หลายไปทั่วแปซิฟิก ขยายไปสู่เอเชียและอินเดีย มีสีแดงเข้ม หรือ สีเขียวแกมเขียว มักจะก่อตัวเป็นหย่อมๆ เป็นรูปไข่บนผิวน้ำ แตกกิ่งก้าน รากเป็นเส้นยาวมีปมเหมือนหมุด

ใบเป็นรูปสามเหลี่ยม ปลายโค้งมน ขอบเป็นเยื่อโปร่งแสง พื้นผิวเรียบสีแดงสด หรือสีเขียวแกมเหลือง Microsporangiate massulae ทรงกลม มีผิวมีหนามเด่นชัด Megasporocarps มีสีน้ำตาล ซึ่งจะซ่อนอยู่ในซอกใบ ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla rubra* R.Brown

ที่มา : Julie et al (2013)

7. *Azolla microphylla* Kaulf

Azolla microphylla Kaulf เป็นเฟิร์นน้ำที่มีถิ่นกำเนิดในแอฟริกาเขตร้อน แอฟริกาใต้ อินเดีย จีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ เวียดนาม นิวกินี ออสเตรเลีย และยังพบในบังคลาเทศ ปากีสถาน ศรีลังกา เกาหลี เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิวซีแลนด์ มีความยาว 0.8–2.5 เซนติเมตร มีใบ 2 แฉกแตกเป็นเกล็ดเล็ก แต่ละแฉกยาว 1-2 มิลลิเมตร ใบสีเขียวหรือสีแดง มักทำให้ผิวน้ำมีสีแดง ลำต้นหลักจะแตกกิ่งก้านสาขา กิ่งก้านยาวขึ้นถึงโคนต้นทำให้มีรูปสามเหลี่ยม รากมีรูเล็กด้านข้าง มีลักษณะเป็นขนนก ผลิตสปอร์ทั้งตัวผู้และตัวเมีย ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรนำเข้าเพื่อคัดพันธุ์ ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla microphylla* Kaulf

ที่มา : Russ Kleinman & Danielle Walkup (2008)

2.3.3 แหนแดง สายพันธุ์ อะซอลล่า ไมโครฟิลล่า (*Azolla microphylla*)



รูปที่ 16 ลักษณะของแหนแดง ก) *Azolla microphylla* และ ข) *A. pinnata*

ที่มา : Kaewsuralikhit et al. (2020)

แหนแดง สายพันธุ์ อะซอลล่า ไมโครฟิลล่า (*Azolla microphylla*) ดังแสดงในรูปที่ 16 ก) เป็นสายพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร เป็นเฟิร์นน้ำ ขนาดเล็ก ลอยบนผิวน้ำ ต้นแก่ที่ได้รับแสงเต็มที่จะเป็นสีแดงคล้ำ ต้นอ่อนหรือได้รับแสงไม่เต็มที่จะเป็นสีเขียว แตกกิ่งแบบขนนก รากเป็นรากพิเศษ ยาวอยู่ทางด้านใต้ของลำต้น ทั้งต้นและกิ่งมีใบขนาดเล็กปกคลุม เรียงสลับซ้อนกัน ใบแต่ละใบแบ่งเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ส่วนบนหนา สีเขียวหรือสีแดง ส่วนล่างบางอยู่ใต้น้ำ ไม่ค่อยมีสี ใบล่างสุดสร้าง Sporocarp 2-4 อัน ที่แกนของใบด้านใต้ใบ ภายในมีเมกะสปอร์และไมโครสปอร์

ในใบของแหนแดงมีโพรงขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นที่อาศัยของ Anabena ซึ่ง เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Anabena ได้รับสารอาหารจากแหนแดง ส่วนแหนแดงจะได้ไนโตรเจนจากการตรึงไนโตรเจนของ Anabena

องค์ประกอบที่สำคัญได้แก่โปรตีน ไขมัน และเซลลูโลส และแร่ธาตุอื่นๆ แหนแดงต้องการธาตุอาหารหลักที่สำคัญได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุโปตัสเซียม และจุลธาตุที่สำคัญได้แก่ เหล็ก และ โมลิบดีนัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ไนโตรจีเนส ในการตรึงไนโตรเจน แหนแดงสามารถมีชีวิตอยู่ได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 5 – 45 องศาเซลเซียส เจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 20 – 30 องศาเซลเซียส แหนแดงจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่มีแสงประมาณ 50 – 70 เปอร์เซ็นต์ของแสงสว่าง พีเอชที่เหมาะสมที่แหนแดงเจริญเติบโตได้ดีที่สุดคือ 4.0 – 5.5 ความลึกของน้ำความลึกที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแหนแดงคือประมาณ 10 เซนติเมตร

ประโยชน์ของแหนแดง

แหนแดงเป็นพืชน้ำมีกระจายอยู่ทั่วประเทศไทย เป็นทรัพยากรที่ใช้ไม่หมดสิ้น และแหนแดงมีโปรตีนสูง เน่าสลายปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้อย่างรวดเร็ว และสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย โดยแหนแดงมีประโยชน์ดังต่อไปนี้

ใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวทดแทนปุ๋ยเคมีไนโตรเจน โดยที่ไนโตรเจนในแหนแดง สามารถดึงเอาไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ แหนแดงมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N) อยู่ระหว่าง 8 – 13 หลังถูกไถกลบ จะย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในระยะเวลาที่สั้นประมาณ 8 สัปดาห์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็วขึ้น ลดปริมาณวัชพืชในนาข้าว แหนแดงจะคลุมผิวน้ำป้องกันไม่ให้แสงแดดส่องลงไปใต้น้ำ ทำให้วัชพืชในน้ำเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่

แหนแดงสามารถเลี้ยงได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแหนแดงในนาข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลา พบว่า มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวใกล้เคียงกับการเลี้ยงปลาในนาข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมีตามปกติ และยังให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

โครงสร้างของชีวมวลของแหนแดงมีหมู่คาร์บอกซิลและหมู่ฟอสเฟตจึงใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักได้ โดยแหนแดงที่ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมคลอไรด์จะดูดซับ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดงและสังกะสีในน้ำเสียได้ดี

2.3.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแหนแดง

ระดับความลึกของน้ำ แหนแดงจะเจริญเติบโตระดับความลึกของน้ำไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร และระดับความลึกที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 10 เซนติเมตร

อุณหภูมิ แหนแดงมีชีวิตรอยู่ได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 5 – 45 องศาเซลเซียส เจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 20 – 30 องศาเซลเซียส

แสงสว่างและระยะเวลาการให้แสง ช่วงแสงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของแหนแดง คือ 20 ชั่วโมง และความสว่างที่แนะนำคือ 380E/m²/s โดยมีช่วงแสง 20 ชั่วโมง (Kannaiyan & Kumar, 2005) ความเข้มแสงประมาณ 50 – 70 เปอร์เซ็นต์ของแสงสว่าง แสงสว่างจะส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและควบคุมกิจกรรมของไนโตรเจนในแหนแดง และ Anabaena

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) แหนแดงสามารถอยู่รอดได้ในช่วง pH 3.5 ถึง 10 ไม่สามารถเติบโตได้ในดินที่เป็นกรดที่มีค่า pH ต่ำกว่า 3.5 pH ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 5.5 ถึง 6.5

2.3.5 ธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแหนแดง

แร่ธาตุ แหนแดงต้องการองค์ประกอบแร่ธาตุที่จำเป็นทั้งหมดเหมือนกับพืชชนิดอื่น รวมทั้งโมลิบดีนัม (องค์ประกอบสำคัญของไนโตรเจน) และโคบอลต์ซึ่งจำเป็นสำหรับการตรึงไนโตรเจนของ Anabaena

ไนโตรเจน แม้ว่าแหนแดงจะไม่ต้องตรึงไนโตรเจนในตัวเองกลางในการเจริญเติบโต แต่ระดับของไนโตรเจนในน้ำก็ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการตรึงไนโตรเจนของพวกมัน เนื่องจากไนโตรเจนถูกหลอมรวมโดยทั้งอะนาบาเอนาและแหนแดง จากบรรยากาศและจากน้ำตามลำดับ

อัตราการเติบโตสัมพันธ์ของ *A. caroliniana* และ *A. pinnata* นั้นสูงกว่าที่ระดับไนเตรต 5 mM มากกว่าในตัวอย่างที่ปราศจากไนโตรเจน แต่ระดับไนเตรตที่สูงกว่าจะลดการเจริญเติบโต (Yadav et al., 2014)

ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญที่สุดและมักจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงโดยจะมีผลทำให้แหนแดงแคระแกร็นและมีความแข็งแรงน้อย และอาจทำให้กลายเป็นสีชมพูถึงสีแดงเข้มและเปราะบาง และมีการพัฒนาของรากที่ยาวมาก โดยปกติสารอาหารจะต้องมีอยู่ในน้ำ หากแหนแดงเจริญเติบโตในน้ำที่ตื้นมาก อาจจะมีการดึงสารอาหารบางส่วนออกมาจากดิน เพราะฉะนั้นควรรักษาระดับสารอาหารให้เพียงพอตลอดช่วงการเจริญเติบโต

เหล็ก ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบจำกัดทั่วไปในการเจริญเติบโตของแหนแดง เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญของไนโตรเจน พืชที่ขาดธาตุเหล็กจะกลายเป็นสีเหลืองเนื่องจากการขาดคลอโรฟิลล์ รากจะบางและขาว

แคลเซียม แหนแดงที่ขาดแคลเซียมจะมีสีแดงเข้มกระจายตามกลีบใบและหลังใบ รากจะสั้นบาง และมีสีอ่อน

โพแทสเซียม ในพืชที่ขาดโพแทสเซียม ใบของต้นแหนแดงจะกลายเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง และรากของมันจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและการเจริญเติบโตจะแคระแกร็น ระดับสารอาหารที่เหมาะสมที่สุด

ระดับสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแหนแดง และเหมาะสำหรับการตรึงไนโตรเจนดังนี้: (Yatazawa et al., 1980)

ระดับธาตุอาหารหลักที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแหนแดง

- P: 0.03 mmol
- K: 0.4 mmol
- Mg: 0.4 mmol
- Ca: 0.5 mmol

ระดับธาตุอาหารหลักที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมการตรึงไนโตรเจน:

- P: 0.03 mmol
- K: 0.6 mmol
- Mg: 0.5 mmol
- Ca: 0.5 mmol

ระดับธาตุอาหารหลักรองที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแหนแดง

- Fe: 50 g
- Mn: 20 g

- Mo: 0.3 g

- B: 30 g

2.3.6 การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของแหนแดง

1. แบบอาศัยเพศ (Sexual reproduction) การสืบพันธุ์แบบนี้เกิดขึ้นน้อยกว่าแบบไม่อาศัยเพศ โดยแหนแดงสร้างอับสปอร์ 2 ชนิด คือ Microsporocarp บรรจุสปอร์เพศผู้จำนวนมาก ส่วนอีกชนิด คือ Megasporecarp บรรจุสปอร์เพศเมียเพียง 1 สปอร์ และเมื่ออับสปอร์แก่ อับสปอร์จะร่วงสู่น้ำ และพักตัวอยู่ช่วงระยะเวลาหนึ่ง และเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม อับสปอร์ทั้งสองจะทำการผสมกันจนเกิดเป็นต้นอ่อนพร้อมกับลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและเติบโตต่อไป

2. แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual reproduction) การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ แหนแดงจะแบ่งตัวออกมาจากต้นแม่ แล้วเจริญเป็นต้นเล็กๆ ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่า ในเวลาเพียง 2.5-5.5 วัน พร้อมเติบโต และสามารถสะสมไนโตรเจนได้ถึง 15 กิโลกรัม/ไร่ ภายใน 30 วัน

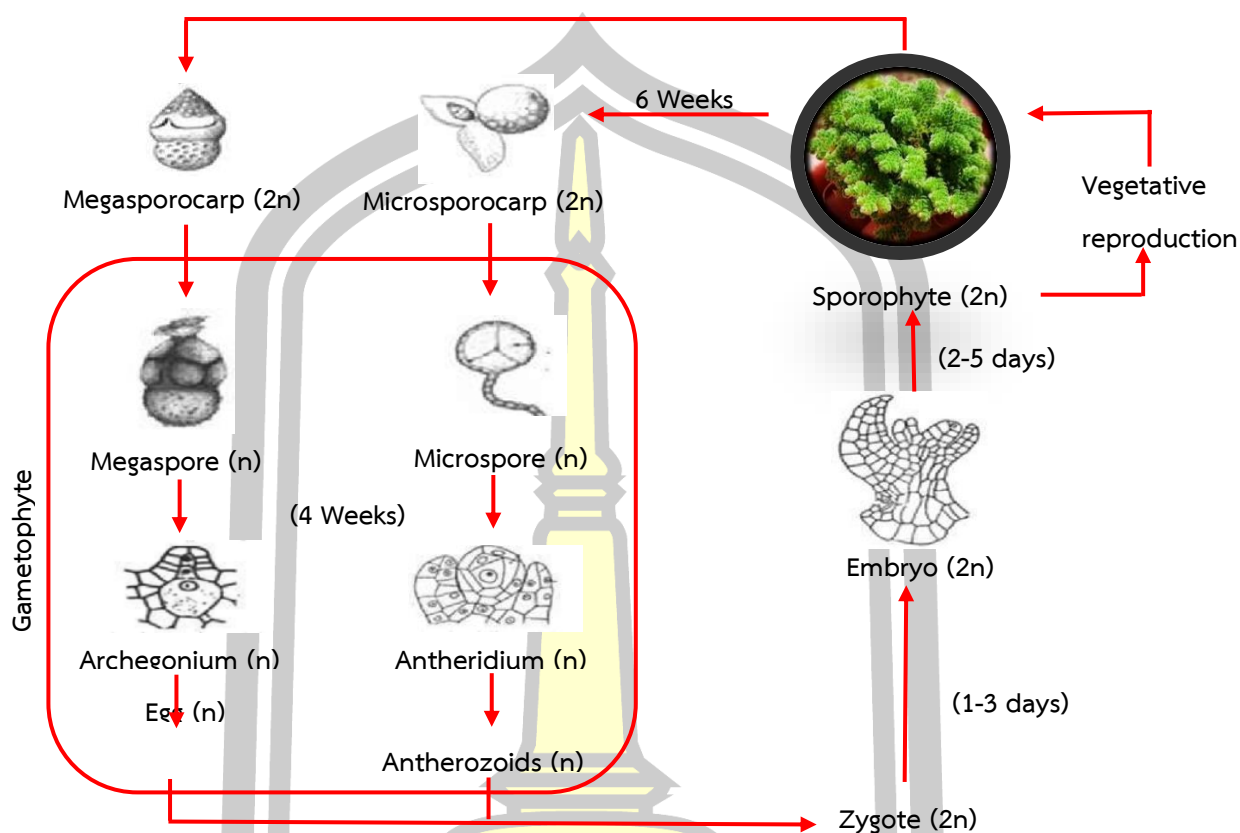


รูปที่ 17 การสร้างสปอร์ของ *Azolla microphylla*

ที่มา : Yadav et al. (2014)

ส่วนการขยายพันธุ์แบบไม่มีเพศในธรรมชาติแหนแดงจะมีการเจริญเติบโตและสร้างกิ่งย่อยแตกแขนงออกจากต้นแม่ (Rhizome) แบบสลับกัน (Alternate) เมื่อต้นแม่แก่จัดจะมีสีเขียวเข้ม แล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งแสดงว่าต้นแม่อันเดิมนั้นหมดอายุลง กิ่งแขนงย่อยจะหลุดออกมาเป็นต้นใหม่ที่มีขนาดเล็กและเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ต่อไป ดังนั้นจึงมีวิธีการที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการแตกตัว และหลุดออกของกิ่งแขนง เช่น การใช้แขนงไม้ตีแหนแดงเบา ๆ จะทำให้มีการแยกส่วนของแขนงแตกออกจากต้นเดิม (Fragmentation) ทำให้การขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณได้รวดเร็วยิ่งขึ้น การขยายพันธุ์ทั้ง 2 วิธีสามารถเพิ่มปริมาณของแหนแดงเป็น 2 เท่าจากเดิมในเวลา 3-6 วัน ขึ้นกับความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม

2.3.7 วงจรชีวิตเห็บแดง



รูปที่ 18 วงจรชีวิตเห่นแดง

ที่มา : Abin et al. (2021)

2.3.8 คีตกุของแหวนแดง

1. หนอนปลีเสื่อ แผลงและ/หรือเขือรา และหอย



รูปที่ 19 แมลงศัตรูของเหานแดง

ที่มา : สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 อุดรราชธานี กรมวิชาการเกษตร (2564)

ແໜ່ງແຕງຖືກທຳລາຍຈາກພວກຟຸ້ນຟູ ແມ່ລຸງ ພອຍ ແລະເຂົ້າຮ່າ ໂດຍເຈາະຢ່າງຍິ່ງໃນຜູ້ທີ່
ອາກາດຮ້ອນຂຶ້ນ

2. สารกำจัดศัตรูพืช ยาฆ่าแมลงหลากหลายชนิด มีผลแตกต่างกันไป โมลิเนตลดการเจริญเติบโตและการทำงานของไนโตรเจนใน *A. pinnata* แต่เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในขณะที่ยาฆ่าแมลง

พืชรานเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์และการทำงานของไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต (Ismail et al., 1995) แหนแดงมีศัตรูเข้าทำลายได้หลายชนิด ได้แก่ สัตว์ ปลา แมลง รา แบคทีเรีย และไวรัส บางกรณีอาจรวม สาหร่ายเข้าไปด้วย ถึงแม้จะไม่ได้เป็นศัตรูโดยตรง แต่ก็แข่งขันกันในเรื่องที่อยู่อาศัยและอาหาร จึงจำเป็นต้องมี วิธีการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชให้หมดไป ซึ่งปัญหาหนึ่งที่เกษตรกรผู้ปลูกแหนแดงสังเกตเห็นคือ แหนแดงที่เพาะเลี้ยงไว้ มีความผิดปกติ เช่น ใบติดกันเป็นแพ ใบมีรอยถูกกัดกินโดยหนอนผีเสื้อ

2.3.9 องค์ประกอบและแร่ธาตุในแหนแดง

ตารางที่ 7 องค์ประกอบและแร่ธาตุในตัวอย่างแหนแดง

องค์ประกอบ	อัตราร้อยละ
น้ำหนักแห้ง	5-7
โปรตีน	13-30
ไขมัน	3.1
เซลลูโลส	8.5-11.7
ไนโตรเจน (N)	3-5
คาร์บอน (C)	41-45
ฟอสฟอรัส (P)	0.2-1.6
โปแตสเซียม (K)	0.3-0.6
แคลเซียม (Ca)	0.5-1.7
แมกนีเซียม (Mg)	0.2-0.7
กำมะถัน (S)	0.2-0.7
ซิลิกา (Si)	0.2-3.5
โซเดียม (Na)	0.2-1.3
คลอรีน (Cl)	0.6-0.8
อลูมิเนียม (Al)	0.04-0.6
เหล็ก (Fe)	0.04-0.6

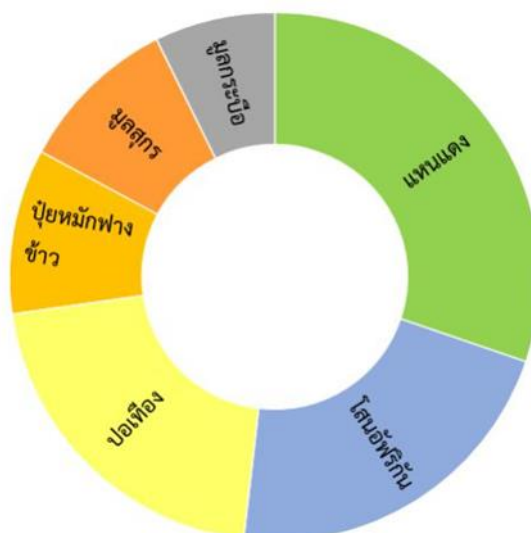
ที่มา : ประยูร สวัสดิ์ และ บรรหาร แดงฉ่ำ (2545)

2.3.10 การใช้ประโยชน์จากแหนแดง

1. การผลิตปุ๋ยชีวภาพ (Production for biofertilization)

ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ หมายถึง ปุ๋ยที่เกิดจากกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ

ผสมกันในขั้นตอนสุดท้าย กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพในระบบนี้จะต่างจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทั่วไป เนื่องจากการผลิตปุ๋ยในระบบนี้จะใช้จุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการหมัก (Decomposing) สูงมาก จนสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อก่อโรคทั้งในคน สัตว์ และพืช ตลอดจนเมล็ดพืชที่ติดมากับมูลสัตว์ เมื่อกระบวนการย่อยสลายสมบูรณ์ (Maturity) จากนั้นนำจุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพกลุ่ม PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) ที่คัดเลือกเชื้อเฉพาะ และผลิตในรูปเชื้อบริสุทธิ์แล้วนำมาผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ผลิตไว้ดังกล่าว โดยให้ปุ๋ยชีวภาพเจริญอยู่ในวัสดุปุ๋ยอินทรีย์ในความชื้น 30-35 เปอร์เซ็นต์ แหนแดงแห้งประมาณ 1 กิโลกรัม มีปริมาณธาตุอาหารเท่ากับปุ๋ยยูเรีย ประมาณ 100 กรัม แม้ว่าการปลดปล่อยธาตุอาหารจากแหนแดงเกิดขึ้นได้เร็ว แต่ยังคงช้ากว่าปุ๋ยยูเรีย ดังนั้นการใส่แหนแดงเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับพืชควรใส่ให้มีปริมาณที่เพียงพอตั้งแต่ออกเริ่มปลูก



รูปที่ 20 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์

ที่มา : ภาชิตา ทุ่นศิริ และคณะ (2563)

เพื่อให้ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เพียงพอและตรงกับความต้องการของพืชนั้น ไม่ควรทำการแบ่งใส่ระหว่างการปลูก (Jumadi et al., 2014) ; (ชาญวิทย์ ชนะสะแบง และคณะ, 2563) ; (ภาชิตา ทุ่นศิริ และคณะ, 2563)) แหนแดงสามารถเลี้ยงได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแหนแดงในนาข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลา พบว่า มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวใกล้เคียงกับการเลี้ยงปลาในนาข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมีตามปกติ และยังให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

2. การผลิตเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ (Production of Azolla for livestock feeding)

แหนแดงมีศักยภาพอย่างมากในการเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสัตว์เนื่องจากเพาะเลี้ยงง่าย ผลผลิตสูง และมีคุณค่าทางโภชนาการ (Prabha et al., 2010) แหนแดงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหาร

ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์สำหรับโค ปลา และอาหารสัตว์ปีก เพราะมีสารอาหารสูง เนื่องจาก แหนแดง มีโปรตีน วิตามิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง แมกนีเซียม เบต้าแคโรทีน และ กรดอะมิโน ในระดับที่สูง



รูปที่ 21 การตากแหนแดงเพื่อทำแหนแดงแห้ง

ที่มา : Kaewsuralikhit et al. (2020)

3. การตรึงไนโตรเจน และปุ๋ยพืชสด (N-fixation and green manure)

ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนของแหนแดงนั้นเกิดจากการมีไซยาโนแบคทีเรียที่อาศัยอยู่รวมด้วย คือ *Anabaena azollae* ซึ่งอาศัยอยู่ที่กลีบหลังของใบ มีอัตราการตรึง N_2 ที่แตกต่างกันไป ระหว่าง 1.0 ถึง 2.6 กิโลกรัมไนโตรเจน/เฮกตาร์ พบว่า *A. pinnata* มีอัตราการตรึง N_2 ที่ 75 กิโลกรัมไนโตรเจน/กรัม น้ำหนักแห้ง/วัน และผลิตชีวมวล 347 ตันน้ำหนักสด/เฮกตาร์ในหนึ่งปี ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนของ แหนแดงต่างสายพันธุ์จะมีความแตกต่างกัน เพราะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นสภาพสิ่งแวดล้อม ปริมาณของสารอาหาร ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมของแต่ละสายพันธุ์ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพการตรึงไนโตรเจนของแหนแดง เช่นเดียวกัน การใช้แหนแดงเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวทดแทนปุ๋ยเคมีไนโตรเจน โดยที่ไนโตรเจนในแหนแดง สามารถดึงเอาไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ แหนแดงมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N) อยู่ระหว่าง 8 – 13 หลังถูกไถกลบ จะย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในระยะเวลาที่สั้นประมาณ 8 สัปดาห์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็วขึ้น



รูปที่ 22 การใช้แหนแดงในการผลิตกล้วยและข้าว

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2563)

4. ลดการปลดปล่อยไนโตรเจน (Limitation of N volatilization)

N_2O ผลิตขึ้นในดินโดยกระบวนการผลิตพลังงานที่แตกต่างกันสองตัวของจุลินทรีย์ไนโตริฟิเคชันและดีไนโตริฟิเคชัน และกระบวนการทางเคมีซึ่งทำให้เกิดการปล่อย N_2O ในดินได้จำกัด (Li et al., 2015) หากมีสภาวะน้ำท่วมอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนซึ่งไม่สนับสนุนให้เกิดการปล่อย N_2O ดังนั้นนาข้าวที่มีน้ำแช่อย่างต่อเนื่องจึงถือว่าไม่เหมาะที่จะมี N_2O เพราะ N_2O จะเปลี่ยนเป็น N_2 ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่เพียงพอ (Reay et al., 2012)

แหนแดงจะทำหน้าที่ในการกักเก็บ N เป็นสารอาหารที่ปลดปล่อยอย่างช้าๆ ทำให้เกิดการปล่อย N_2O ไปที่บรรยากาศน้อย และสูญเสีย N ในปริมาณต่ำ (Jeyapandiyan and Lakshmanan, 2014) ปัจจัยสำคัญในการระเหยของ NH_3 หรือก๊าซ N (N_2O) เนื่องจากมีความเข้มข้นของ NH_4 และ pH ในน้ำ มีผลไปยัง Urease ในการย่อยสลาย NH_4 ผลการวิจัยพบว่า แหนแดงที่ปกคลุมผิวน้ำช่วยป้องกันการเพิ่มขึ้นของค่า pH ที่มีผลต่อการไฮโดรไลซิสของยูเรียและกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำลดลงมากถึง 1.9 หน่วย pH และทำให้ค่า pH ต่ำกว่า 8.3 ในทางตรงกันข้าม หากไม่มีที่กำบัง ค่า pH ของน้ำท่วมสูงกว่า 8.5 และถึงสูงสุด 10.1 อุณหภูมิน้ำจะลดลงถึง 5 องศาเซลเซียส เป็นผลให้ความดันบางส่วนของ NH_3 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพของการทำให้เป็นกรด NH_3 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การกักเก็บของ N ทั้งหมดแตกต่างกันระหว่าง 77 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ หากคิดการสูญเสีย N ในระบบดินที่มี แหนแดง-ข้าว-ดินจะอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 23 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไม่มีแหนแดงปกคลุมจะมีการสูญเสีย N อยู่ระหว่าง 21 ถึง 49 เปอร์เซ็นต์ (Cissé & Vlek, 2003; de Macale & Vlek, 2004)

5. การควบคุมวัชพืช (Weed control)

แหนแดงสามารถลดปริมาณวัชพืชในนาข้าว โดยแหนแดงจะคลุมผิวน้ำป้องกันไม่ให้แสงแดดส่องลงไปใต้น้ำทำให้วัชพืชใต้น้ำเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่

6. การควบคุมยุง (Mosquito control)

ความสามารถของແໜແດງในการลดจำนวนยุงและโรคที่เกิดจากยุง ในเมืองกาเซียบัดของอินเดีย ใกล้กับกรุงนิวเดลี สามารถลดการขยายพันธุ์ของยุงที่แพร่เชื้อมาลาเรีย ในสระน้ำ บ่อน้ำ และบ่อน้ำที่ปกคลุมไปด้วยແໜແດງ ในทำนองเดียวกัน ในภาคใต้ของอินเดีย จำนวนลูกยุงลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยมีความสัมพันธ์ของແໜແດງที่ปกคลุมน้ำในนาข้าว (Rajendran & Reuben, 1991)

ในแอฟริกา (Malima et al., 2009) พบว่าແໜແດງลดการออกไข่และการเกิดขึ้นของยุงในประเทศแทนซาเนีย เนื่องจากอัตราการเกิดของตัวอ่อนลดลงอย่างมากในบริเวณที่มี แໜແດງปกคลุมผิวน้ำสูง (มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์) ในเคนยา (Okech et al., 2008) ยังพบว่าແໜແດງสามารถเจริญเติบโตหนาที่บในนาข้าวส่งผลต่อการลดจำนวนของยุง และสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มปลาน้ำจืด เช่น ปลาแคร์พหรือปลานิล ซึ่งกินลูกน้ำยุงและพืชตระกูลถั่ว เป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูงทดแทนในท้องถิ่น การมีແໜແດງบนผิวน้ำไม่ได้ส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำ แໜແດງกลับมีผลดีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย

7. การบำบัดทางชีวภาพ (Bioremediation)

ตารางที่ 8 การบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อมโดย *Azolla* sp.

มลพิษ	องค์ประกอบ	<i>Azolla</i> sp ผ่านการทดสอบการบำบัดทางชีวภาพ	อ้างอิง
โลหะหนัก	Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, As, Au, Zn	<i>Azolla filiculoides</i> , <i>Azolla microphylla</i> <i>Azolla pinnata</i> , <i>Azolla caroliniana</i>	Jafari et al. (2010); Kanoun-Boulé et al. (2009);
ปิโตรเลียม	ดีเซลไฮโดรคาร์บอน, BTEX, น้ำมันดิบ	<i>Azolla pinnata</i> , <i>Azolla africana</i>	Mufarrege et al. (2010); Cohen et al. (2002);
ยาด้านจุลชีวะ, ยา	Sulfadimethoxine	<i>Azolla filiculoides</i>	Edema et al. (2010)
สีย้อม	Acid red 88 (AR88)	<i>Azolla microphylla</i>	Forni et al. (2006) Padmesh et al. (2005)

ที่มา : Kollah et al. (2015)

การประยุกต์ใช้ แໜແດງในกระบวนการของการบำบัดทางชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการ Phytoremediation โครงสร้างของชีวมวลของແໜແດງจะมีหมู่คาร์บอกซิลและหมู่ฟอสเฟตที่ใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักได้ดี โดยແໜແດງที่ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมคลอไรด์จะดูดซับ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดงและสังกะสีในน้ำเสียได้ดี มีรายงานการใช้ *Azolla filiculoides* เป็นตัวดูดซับโลหะหนักอย่าง

มีประสิทธิภาพจากน้ำเสีย (Antunes et al., 2001) ; (Elmachli et al., 2011)) แสดงให้เห็นการกำจัดซิลเวอร์และตะกั่วไอออนออกจากน้ำเสียโดยใช้ *Azolla filiculoides* ประสบความสำเร็จการเพาะปลูกชีวมวล *A. microphylla* ในระดับหัตถิยภูมิมีการพยายามบำบัดน้ำเสียจากเทศบาลในเดลี โดย (Arora & Saxena, 2005)

ชีวมวลของแหนแดงยังใช้ในการบำบัดพิษหนักของโลหะ จากการศึกษาศักยภาพของ Phytoremediation ของแหนแดง สามสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ *A. microphylla*, *A. pinnata* และ *A. filiculoides* พบว่า *A. microphylla* มีการสะสมโลหะหนักได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับสปีชีส์อื่น (Arora et al., 2006) ชีวมวลของแหนแดง (ทั้งเป็นและตาย) ยังนำมาใช้ในการดูดซับทางชีวภาพของโลหะหนักหลายชนิดอีกด้วย ((Umali et al., 2006) ; (Mashkani & Ghazvini, 2009)) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอีกมากเกี่ยวกับการใช้แหนแดงในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำในสิ่งแวดล้อม ((Rai, 2008) ; (Rai & Tripathi, 2009) ; (Rai, 2010a) ; (Rai, 2010b))

8. การลดก๊าซเรือนกระจกโดยแหนแดง

ตารางที่ 9 ความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดย *Azolla* sp.

ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	หมายเหตุ	อ้างอิง
การประหยัดพลังงาน	ลดการใช้พลังงานโดยลดการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้น้อยที่สุด และลดการใช้พลังงานเกี่ยวข้องกับการ C foot print	McLaughlin et al. (2000)
การสูญเสีย N	ลดการสูญเสีย N ให้ให้น้อยที่สุดโดยลดการระเหยของ NH_3	Cissé and Vlek (2003); Phong et al. (2011)
การเกิดก๊าซเรือนกระจก	ลดปริมาณการเกิดก๊าซ CH_4 , CO_2 , N_2O	Bharati et al. (2000); Janzen (2004); Prasanna et al. (2002)
อุณหภูมิโลก	ลดอุณหภูมิโลกด้วยการตรึง CO_2	Waddell and Moore (2008)
การกักเก็บคาร์บอน	การสลายตัวของชีวมวลแหนแดงในดินช่วยทำให้เกิดการกักเก็บคาร์บอน	Surenthiran and Loganathan (2012)
การเพิ่มประสิทธิภาพของดิน	การปลูกข้าวด้วย แหนแดงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการผสมผสานตลาดคาร์บอนเครดิตเพื่อลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนทั่วโลก	Brinkhuis and Bijl (2014)

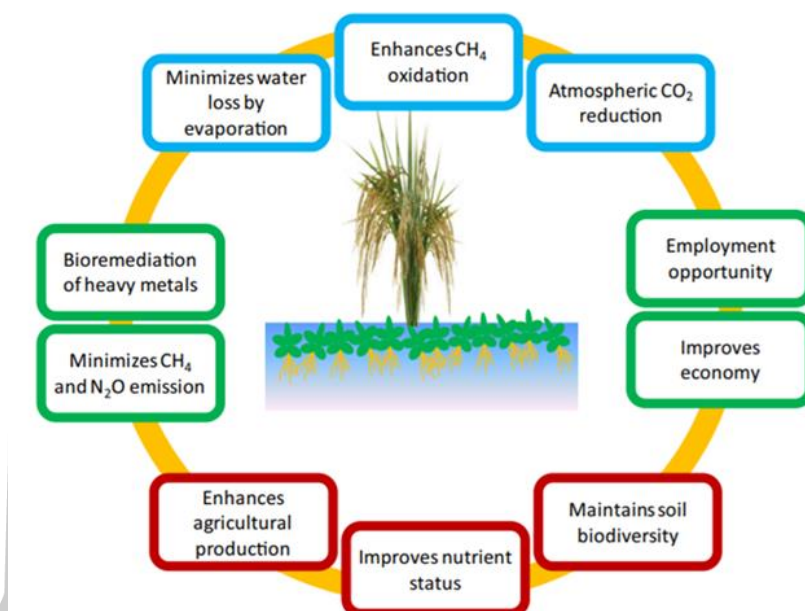
ที่มา : Kollah et al. (2016)

การทำเกษตรกรรมมีส่วนทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศจากก๊าซสามชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (Houghton et al., 2001) การปล่อย CO_2 ส่วนใหญ่มาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์หรือการเผาไหม้ของเศษซากพืช และการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน ((Janzen, 2004) ; (Smith et al., 2008)) CH_4 ผลิตขึ้นใน

ระหว่างการสลายตัวของสารอินทรีย์ซึ่งมักจะเกิดขึ้นภายใต้สภาพแวดล้อมไร้ออกซิเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการย่อยอาหารหมักโดยสัตว์เคี้ยวเอื้องในปศุสัตว์ จากมูลสัตว์ที่เก็บไว้ และจากข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพที่มีระดับน้ำสูง (Mosier et al., 1998) N_2O สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์ด้วยการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินและมูลสัตว์และโดยทั่วไปจะถูกกระตุ้นเมื่อมีไนโตรเจน (N) เกินความต้องการของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาวะที่มึนน้ำ (Smith et al., 2008)

9. การลด CO_2 ในบรรยากาศโดยแทนแดง

ศักยภาพการตรึงคาร์บอนของแทนแดงพบว่าสามารถตรึงไนโตรเจนได้ 0.33 ตันและตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 1.86 ตัน ในพื้นที่ 1 ไร่ ภายในระยะเวลา 1 ปี ประมาณการว่าการเพาะปลูกแทนแดงในนาข้าวของศรีลังกา สามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์ลงจากบรรยากาศ 509,422 ตัน และสามารถได้รับปุ๋ยไนโตรเจน 8934 ตัน/ปี (Surenthiran & Loganathan, 2012)



รูปที่ 23 คุณประโยชน์ของแทนแดงที่มีต่อการเกษตร เศรษฐกิจ สังคมและระบบนิเวศ
ที่มา : Kollah et al. (2016)

ในทำนองเดียวกันการศึกษาจากสหราชอาณาจักรพบว่า *A. filiculoides* สามารถลด CO_2 จำนวน 32.54 เมตริกตัน/เฮกเตอร์/ปี ซึ่งสูงกว่าทุ่งหญ้า ป่า และ สหรัย ((Koberg et al., 2011) ; (Dawson & Smith, 2007)) เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นกับอัตราการเติบโตของแทนแดง มีการทดลองในถังปฏิกรณ์ด้วยการเพาะเลี้ยงแทนแดงภายใต้ CO_2 ที่มีความเข้มข้นสูง (380 ppm และ 680 ppm) การผลิตชีวมวลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

($p < 0.01$) ในการตอบสนองต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ชีวมวลของແໜແດງ เพิ่มขึ้นเป็น 417 มิลลิกรัม/ถึงปฏิกิริยา ซึ่งมากกว่าสภาพแวดล้อมปกติ (348 มิลลิกรัม/ถึงปฏิกิริยา) ใน 16 วัน (Cheng et al., 2010)

ແໜແດງเป็นที่น่าสนใจสำหรับการลดปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศ (Brinkhuis & Bijl, 2014) และปริมาณชีวมวลที่ผลิตได้สอดคล้องกับความเข้มข้นของ CO_2 ดังนั้นจึงคาดว่า การปลูกແໜແດງ ร่วมกับการทำการเกษตรจะช่วยลด CO_2 ทั่วโลกได้อย่างมากดังตารางที่ 9 การผลิตและการฝังกลบที่เป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์จำนวนมากอาจมีผลกระทบต่อความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศและส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศโลก

10. ประโยชน์ด้านอื่นๆ ต่อสิ่งแวดล้อม (Other environmental benefits)

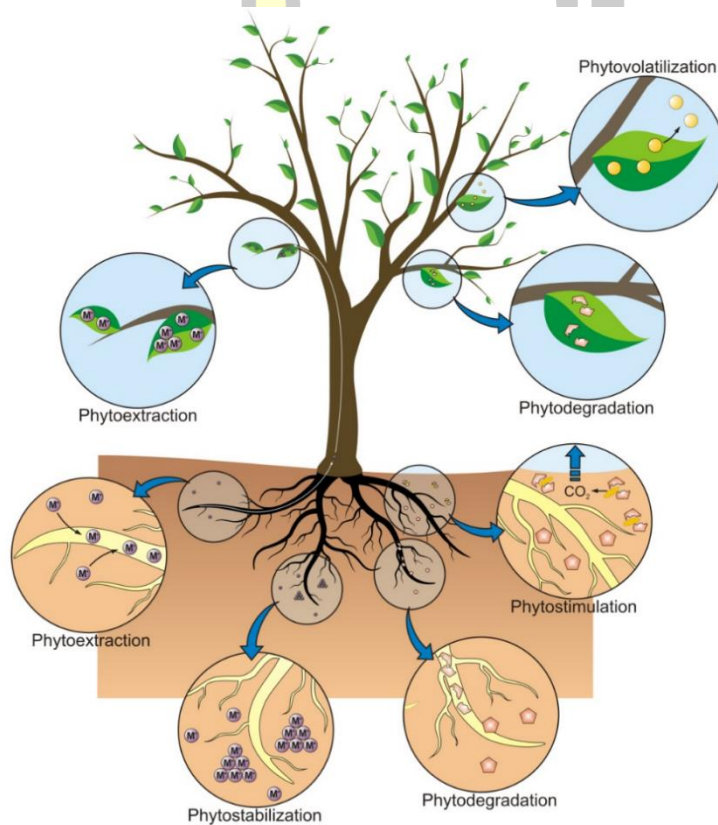
เนื่องจากสภาพความสมบูรณ์ของดินและผลผลิตลดลงจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น การรักษาความยั่งยืนเป็นงานที่ทำนายในอนาคต การใช้ Azolla-Anabaena เป็นปุ๋ยชีวภาพที่ดีเยี่ยมสำหรับการปลูกข้าวและยังมีประโยชน์อื่นๆ อีกหลายด้าน ทั้งประโยชน์ในการเกษตรและส่วนอื่นๆ ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งในการศึกษาແໜແດງเพื่อการใช้ประโยชน์และการปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ให้ดีขึ้น แໜແດງได้รับการยอมรับว่ากระบวนการ Phytoremediation มีประโยชน์ต่อกระบวนการบำบัดในแหล่งน้ำเสีย มีศักยภาพสำหรับการบำบัดทางชีวภาพของน้ำเสียจากเทศบาลที่มีฟอสฟอรัสและไนโตรเจนจำนวนมาก ชีวมวลที่ได้สามารถใช้เป็นปุ๋ยคอกได้ หรือหากเมื่อใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก มวลชีวภาพที่แห้งอาจจะสกัดนำโลหะกลับมาใช้ใหม่หรือเผาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ แໜແດງยังถูกใช้เป็นตัวเสริมในการทำนาอินทรีย์ และเป็นอาหาร สัตว์ปีก/อาหารโค (Yadav et al., 2014)

2.4 การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation)

การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) คือ เป็นแนวทางที่ประหยัดต้นทุนในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมโดยการใช้ความสามารถของพืชเพื่อเคลื่อนย้าย เก็บ หรือทำให้สารมลพิษในสิ่งแวดล้อมเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่นน้อยลง เป็นผลมาจากความสามารถของพืชบางชนิดที่เรียกว่า Hyperaccumulators ในการสะสมสารเคมีทางชีวภาพ

ซึ่งผลการฟื้นฟูค่อนข้างแตกต่างกัน เช่น โลหะหนักที่เป็นสารพิษไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่สารมลพิษอินทรีย์มีความสามารถที่พืชย่อยสลายได้ จากการทดลองได้รับการยืนยันว่ามีความเป็นไปได้ของการใช้พืชสำหรับการบำบัดทางสิ่งแวดล้อมอาจนำไปใช้กับดินที่ปนเปื้อนหรือสภาพแวดล้อมที่มีน้ำนิ่ง

พืชที่นำมาใช้ในการบำบัดส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็นพืชล้มลุกอายุสั้นและไม่ใช้พืชรับประทานหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรเนื่องจากพืชดังกล่าวเติบโตได้รวดเร็ว สามารถเก็บเกี่ยวไปทำลายได้ง่าย และมั่นใจได้ว่าสารพิษที่พืชดูดซับไปจะไม่กลับเข้าสู่ร่างกายคนผ่านการรับประทานหรือบริโภค ผลิตภัณฑ์จากพืชบำบัด จากงานวิจัยพบว่ามีพืชหลายชนิดที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้มาก (Hyperaccumulator) และมีความทน (Tolerance) ต่อโลหะหนักมากกว่าพืชชนิดอื่น ตัวอย่างของพืชที่สามารถนำไปใช้ได้แก่ พืชวงศ์ผักกาด (Brassicaceae) พืชในตระกูลธูปฤาษีและตระกูลหญ้าแฝก เป็นต้น อาจจะไม่ใช่พืชทุกชนิดที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักหรือย่อยสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษได้เนื่องจากความแตกต่างในสรีรวิทยา แม้แต่สายพันธุ์ในสปีชีส์เดียวกันก็มีความสามารถในการสะสมมลพิษที่แตกต่างกัน

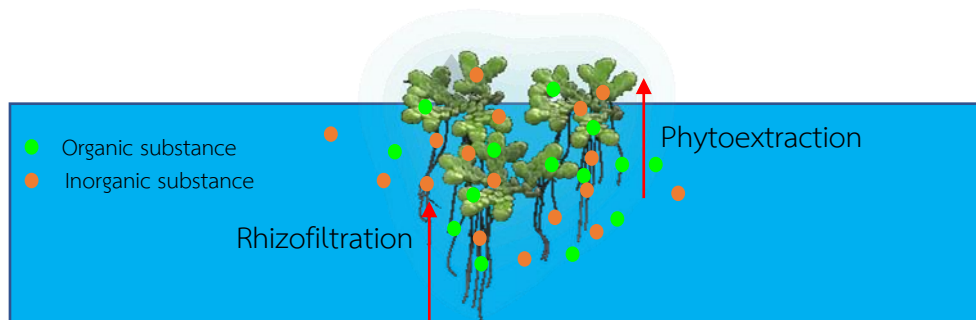


รูปที่ 24 กระบวนการบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation)

ที่มา: Favas et al. (2014)

กลไกของการบำบัดจากพืชที่สำคัญได้แก่

1. การสกัดด้วยพืช (Phytoextraction) พืชดูดซึมสารมลพิษขึ้นจากดินเข้าสู่รากของพืช แล้วนำไปสะสมที่ยอดหรือราก พบทั้งในกรณีการสะสมโลหะหนัก สารประกอบของโลหะหนักและกัมมันตภาพรังสี การใช้พืชสะสมธาตุโลหะหนักมีข้อเสียคือ พืชมักจะสะสมธาตุโลหะได้ชนิดเดียว มีการเจริญเติบโตช้าและต้นมีขนาดเล็กกว่าพืชชนิดเดียวกันที่ไม่ได้สะสมโลหะ



รูปที่ 25 กลไกการดูดซับสารมลพิษที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำของแผนแดง

ที่มา: สมคิด แข็งกลาง (2566)

2. การกรองด้วยรากพืช (Rhizofiltration) หรือการดูดซับทางชีวภาพ (Biosorption) พืชดูดซับหรือตกตะกอนสารมลพิษด้วยราก หรือดูดซับไว้ในเซลล์ ส่วนใหญ่เป็นพืชน้ำ

3. การตรึงด้วยพืช (Phytostabilization) พืชดูดซับสารพิษไว้ในรูปที่เคลื่อนที่ได้น้อยลง หรืออยู่ในรูปที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ไม่ได้ วิธีนี้สามารถใช้ได้ผลเพียงชั่วคราวเท่านั้น เพราะการควบคุมให้โลหะทุกชนิดอยู่ในรูปที่ไม่เคลื่อนที่และไม่เป็นพิษนั้นทำได้ยาก

4. การทำให้ระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization) เป็นการทำให้ธาตุโลหะหรือสารประกอบของโลหะที่ระเหยได้ขึ้นมาจากดินโดยแรงดึงดูดจากการคายน้ำ แล้วปล่อยออกทางใบ เหมาะกับธาตุโลหะที่เมื่ออยู่ในรูปที่เป็นไอแล้วมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตน้อยลง

5. การย่อยสลายด้วยพืช (Phytodegradation) พืชดูดซึมสารมลพิษเข้าไปในพืชแล้วย่อยสลายหรือเปลี่ยนแปลงด้วยเมตาบอลิซึมของพืชเอง หรือเปลี่ยนเป็นสารที่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายต่อไปได้

6. การกระตุ้นด้วยพืช (Phytostimulation) รากหลั่งสารออกมาจากรากพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ หรือจากการสลายตัวของรากพืชที่ตายแล้ว เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในดิน หรือเชื้อราไมคอร์ไรซา ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารมลพิษได้ดีขึ้น เป็นกระบวนการที่ใช้กับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย เช่น ปิโตรเลียม พีเอช และ พีซีพี ((วรารักษ์ ฉุยฉาย, 2551) ; (นัยนันท์ อริยานนท์, 2558))

ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้พืชสำหรับการบำบัดทางสิ่งแวดล้อม

ข้อดี

1. เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ
2. สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม
3. กระบวนการย่อยสลายสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดผลกระทบตกค้างในสิ่งแวดล้อม

4. สามารถประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่จริง
5. งบประมาณในการดำเนินงานน้อย
6. เป็นที่ยอมรับของประชาชน

ข้อจำกัด

1. กระบวนการนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับสารเคมีบางชนิด
2. สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยสลาย อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ
3. ต้องการสภาวะที่เหมาะสมที่มีลักษณะจำเพาะเจาะจงสูง
4. ใช้ระยะเวลานาน

2.5 Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM)



รูปที่ 26 เชื้อจุลินทรีย์ EM ทางการค้า

ที่มา : สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) (2565)

EM ย่อมาจาก Effective Microorganisms หมายถึง กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ

2 ประเภท คือ

1. ประเภทต้องการอากาศ (Aerobic Bacteria)
2. ประเภทไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic Bacteria)

จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้ พึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน และสามารถอยู่ร่วมกันได้ ประกอบด้วย 5 กลุ่ม (Family) 10 จีนัส (Genus) 80 สายพันธุ์ (Species) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย (Filamentous fungi) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย สามารถทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี ปกติใช้เป็นหัวเชื้อผลิตเหล้า ผลิตปุ๋ยหมัก ฯลฯ

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสังเคราะห์แสง (Photosynthetic microorganisms) ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่ดิน เช่น ไนโตรเจน กรดอะมิโน (Amino acids) น้ำตาล (Sugar) วิตามิน (Vitamins) ฮอรโมน (Hormones) และอื่น ๆ เพื่อสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ดิน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (Zynogumic หรือ Fermented microorganisms) ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้ต้านทานโรค (Diseases resistant) เข้าสู่วงจรการย่อยสลายได้ดี ช่วยลดการพังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิดของพืชและสัตว์ สามารถบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษต่าง ๆ ได้

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing microorganisms) มีทั้งพวกที่เป็นสาหร่าย (Algae) และพวกแบคทีเรีย (Bacteria) ทำหน้าที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเพื่อให้ดินผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต เช่น โปรตีน (Protein) กรดอินทรีย์ (Organic acids) กรดไขมัน (Fatty acids) แป้ง (Starch หรือ Carbohydrates) ฮอร์โมน (Hormones) วิตามิน (Vitamins) ฯลฯ

กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแลคติก (Lactic acids) มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่เป็นโทษ ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศหายใจ ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินเน่าเปื่อย หรือดินก่อโรคให้เป็นดินที่ต้านทานโรค ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชที่มีจำนวนนับแสนหรือทำให้หมดไป นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายเปลือกเมล็ดพืชช่วยให้เมล็ดงอกได้ดีและแข็งแรงกว่าปกติอีกด้วย (EM จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ, 2545 น. 65-68)

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของ EM

EM เป็นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างสรรค์ เป็นกลุ่มที่มีประโยชน์ ดังนั้นเวลาจะใช้ EM ต้องคำนึงถึงอยู่เสมอว่า EM เป็นสิ่งมีชีวิต และมีลักษณะดังนี้

1. เป็นของเหลวมีสีน้ำตาลแก่ กลิ่นอมเปรี้ยว อมหวาน
2. เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ไม่สามารถใช้ร่วมกับสารเคมี ยาปฏิชีวนะ และสารฆ่าเชื้อต่าง ๆ ได้
3. ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คน สัตว์ พืชและแมลงที่เป็นประโยชน์
4. ช่วยปรับสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
5. เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถนำไปเพาะขยายเพื่อใช้ประโยชน์ต่อได้
6. สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 12 เดือน ที่อุณหภูมิปกติที่ 25-45 องศาเซลเซียส

2.5.2 การดูแลรักษาหัวเชื้อจุลินทรีย์ EM

1. หัวเชื้อ EM สามารถเก็บได้นานประมาณ 1 ปี โดยอยู่ในภาชนะที่ปิดสนิท
2. เก็บรักษาหัวเชื้อ EM ไว้ที่อุณหภูมิปกติ
3. เมื่อเปิดแบ่งใช้รีบปิดฝาให้สนิท เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อม

4. การขยายต่อ EM ต้องใช้ภาชนะที่สะอาดและใช้ให้หมดในระยะเวลาที่เหมาะสม

ข้อสังเกตพิเศษ

1. EM เปลี่ยนเป็นสีดำ มีกลิ่นเหม็นเน่า ถือว่า EM เสื่อมสภาพไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้
2. กรณีเก็บไว้นาน ๆ จะเกิดฝ้าขาวเหนือผิวน้ำเนื่องจากอยู่ในระยะพักตัว เมื่อเขย่า ฝ้าขาวจะสลายตัวในน้ำเหมือนเดิมนำไปใช้ได้
3. เมื่อนำ EM ไปขยายเชื้อในน้ำและกากน้ำตาล จะมีกลิ่นหอม และเป็นฟองขาว ภายใน 2-3 วัน หากไม่เกิดฟอง แสดงว่ากระบวนการหมักอาจมีข้อผิดพลาดไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.5.3 วิธีใช้และประโยชน์ของ EM สด

การใช้จุลินทรีย์สด หรือ EM สด หมายถึง การใช้จุลินทรีย์ (EM) จากโรงงานผลิต หรือผู้จำหน่ายที่ยังไม่ได้ทำการแปรรูป

1. ใช้กับพืช (ปุ๋ยน้ำ)

ผสมน้ำอัตราส่วน 1:1000 (EM 1 ซ้อนโต๊ะ กากน้ำตาล 1 ซ้อนโต๊ะ : น้ำ 10 ลิตร) ใช้ฉีด พ่น รด หรือราด พืชต่าง ๆ ให้ทั่วจากดิน ลำต้น กิ่ง ใบ และนอกทรงพุ่ม

- พืช ผัก ฉีด พ่น รด หรือราด ทุก 3 วัน
- ไม้ดอก ไม้ประดับ เดือนละ 1 ครั้ง การใช้จุลินทรีย์สดกับดิน ควรมีอินทรีย์วัตถุปกคลุม ด้วย เช่น ฟางแห้ง ใบไม้แห้ง ฯลฯ เพื่อรักษาความชื้นและเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์

2. ใช้ในการทำ EM ขยายปุ๋ยแห้ง

3. ใช้กับสัตว์ (ไม่ต้องผสมกากน้ำตาล)

- ใช้บำรุงสุขภาพสัตว์กินโดยผสม EM 1 ซ้อนโต๊ะ : น้ำ 200 ลิตร
- ใช้กำจัดกลิ่นในคอกโดยผสม EM 1 ซ้อนโต๊ะ : น้ำ 10 ลิตร พ่นให้ทั่วคอกเลี้ยงสัตว์
- ใช้รักษาโรคทางเดินอาหารโดยใช้ EM 1 ซ้อนโต๊ะ ผสมกับอาหารให้สัตว์กิน ฯลฯ

4. ใช้กับสิ่งแวดล้อม

- ใช้ในการดับกลิ่น และช่วยการย่อยสลายในห้องสุขา
- ใช้ในการกำจัดกลิ่นในสภาพแวดล้อม (EM 1 ซ้อนโต๊ะ: กากน้ำตาล 1 ซ้อนโต๊ะ: น้ำ 1 ลิตร) ฉีด พ่น ทุก 3 วัน
- ใช้ในบำบัดน้ำเสีย 1: 1000 หรือ EM 2 ซ้อนโต๊ะ : น้ำ 200 ลิตร
- ใช้กำจัดเศษอาหาร หรือทำปุ๋ยน้ำจากเศษอาหาร
- แก่ไข่อุดตัน EM 1 ซ้อนโต๊ะ ใส่ 5-7 วัน/ครั้ง
- ฉีดพ่นปรับอากาศในครัวเรือน
- กำจัดกลิ่นในแหล่งน้ำธรรมชาติ

2.5.4 วิธีใช้และประโยชน์ EM ขยาย

1. ใช้กับพืชเหมือน EM สด
2. ใช้กับสัตว์ ผสมน้ำ 1 : 100 ฉีดพ่นคอก กำจัดแมลงรบกวน ผสมน้ำ 1: 1000 ล้างคอก กำจัดกลิ่น ผสมน้ำในอัตรา 1: 500 หรือ 2 ช้อนโต๊ะ : น้ำ 10 ลิตร เพื่อหมักหญ้าแห้ง ฟางแห้ง เป็นอาหารสัตว์
3. ใช้ทำปุ๋ยน้ำ ปุ๋ยแห้ง เหมือนใช้ EM สด
4. ใช้กับสิ่งแวดล้อม เหมือนใช้ EM สด

2.5.5 การใช้ประโยชน์ EM ร่วมกับปุ๋ยแห้ง

1. ใช้รองก้นหลุมก่อนปลูกพืชร่วมกับอินทรีย์วัตถุ เช่น ฟางแห้ง ใบไม้แห้ง คลุมดิน คือ โรยผิวดินบนแปลงผัก หรือใต้ทรงพุ่มของต้นไม้ ใช้ในนา ไ้
2. ใช้กับการประมงเพื่อสร้างอาหารในน้ำก่อนปล่อยสัตว์ลงน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยง หรือผสมกับอาหารสัตว์
3. ใช้กับปุ๋ยคูลำไส้สัตว์กิน
4. ใช้กับสิ่งแวดล้อมเพื่อบำบัดกลิ่นร่วมกับ EM ขยายเพื่อบำบัดน้ำเสียร่วมกับ EM ขยายใช้ในการหมักเศษอาหาร ทำปุ๋ยน้ำ ใช้ในขยะเปียกอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

การประยุกต์ใช้ EM ได้รับความนิยมขยายไปทั่วโลก เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่มีอันตราย มีแต่ประโยชน์ถ้าสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง และมุ่งเน้นการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ทำให้การขยายการใช้ EM ไปสู่เกษตรกรและองค์กรทั่วโลกแล้วกว่า 30 ประเทศ อาทิ International Nature Farming Research Center Movement (INFRC) JAPAN, EM Research Organization (EMRO) JAPAN, International Federation of Agriculture Movement (IFOAM) GERMANY เป็นต้น และ California Certified Organics Farmers ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นสถาบันวิจัยเกษตรธรรมชาติได้ให้คำรับรองเมื่อ ค.ศ.1993 ว่าเป็นวัสดุประเภทจุลินทรีย์ (Microbial Inoculants) ที่ปลอดภัย และได้ผลจริง 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในประเทศไทย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้นำไปวิเคราะห์แล้วรับรองว่า จุลินทรีย์ EM ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ จึงสามารถนำ EM ไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ดังนี้

1. ใช้กับพืชทุกชนิด
2. ใช้กับการปลูกสัตว์
3. ใช้กับการประมง
4. ใช้กับสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์หลักของการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

1. เพื่อลดต้นทุนการผลิต
2. เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ปลอดสารพิษ สารเคมี และรักษาสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ
4. เพื่อรักษาสุขภาพผู้ผลิต และผู้บริโภค
5. เพื่อเพิ่มคุณค่าทางด้านเศรษฐกิจ (EM จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ, 2545 น. 65-68)



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์ทดลอง

1. แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla microphylla* Kaulf จากการพัฒนาสายพันธุ์ของกลุ่มงานวิจัย จุลินทรีย์ดิน กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา ที่ตั้ง เลขที่ 196 หมู่ 3 ตำบลลาดบัวขาว อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา 30340

2. น้ำเสียตัวอย่างได้จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สอง จาก

2.1 น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรเก็บตัวอย่างน้ำจากฟาร์มเบญจมาศ เลขที่ 1 ม. 18 ต.บัลลังก์ อ.โนนไทย จ.นครราชสีมา เลขมาตรฐานฟาร์ม กษ 02 6403 30 030084 GAP นางเบญจมาศ อินยวงศ์ ผู้ดูแลเคราะห้ตัวอย่าง

2.2 น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร เก็บตัวอย่างน้ำจากฟาร์มเจนจิรา เลขที่ 202 ม. 10 ต.ขุนทอง อ.บัวใหญ่ จ.นครราชสีมา เลขมาตรฐานฟาร์ม กษ 02 22 06403 30120256 000 นางสาวเจนจิรา ใจเที่ยง ผู้ดูแลเคราะห้ตัวอย่าง

2.3 น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศ เก็บตัวอย่างน้ำจากฟาร์มธารา เลขที่ 80 ม. 9 ต.ขามเฒ่า อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา เลขมาตรฐานฟาร์ม กษ 02 6403 30 030222 GAP นายธารา ขอสวยกลาง ผู้ดูแลเคราะห้ตัวอย่าง

2. Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM) ยี่ห้อ EM KYUSEI Lot No. S5-12/0385178 MFD 13/12/64

4. กากน้ำตาล ยี่ห้อ เอ็ม โมลาส Lot No. MFG 010665

5. ภาชนะรองรับการทดสอบน้ำตัวอย่าง อ่างเพาะเลี้ยง และพักแหนดงก่อนการทดลองเป็นกะละมังพลาสติกทรงกลมสีดำขนาดบรรจุ 35 ลิตร

6. เครื่องชั่ง (Balance) ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย

7. กระบอกตวงมาตรฐาน (ขนาด 100, 200, 5000 ml)

8. Lux meter (เครื่องวัดความเข้มแสง)

9. เทอร์โมมิเตอร์

3.2 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างจากฟาร์มสุกรก่อนนำมาเพาะเลี้ยงแหนแดง

(*Azolla microphylla*)

ศึกษาการเจริญของแหนแดงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร โดยเป็นการทดลองแบบ Completely Random Design (CRD) แบ่งเป็น 6 ชุดการทดลอง ชุดละ 3 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง

3.2.1 แหล่งของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

แหล่งของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่นำมาทดลองเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรประเภท ข. ที่อยู่ในพื้นที่ อ.โนนไทย อ.บัวใหญ่ อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา โดยใช้น้ำเสียที่มีลักษณะ ดังนี้

1. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Breeder farm: BR)
2. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Finisher farm: FS)
3. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศ (Biogas of Finisher farm: Bio)

3.2.2 วิธีการเก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งใช้วิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) บริเวณที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากสถานที่เลี้ยงสุกร จากจุดที่สถานที่เลี้ยงสุกรระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือจุดเก็บอื่นที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากสถานที่เลี้ยงสุกร ในกรณีสถานที่เลี้ยงสุกรมีการระบายน้ำทิ้งหลายจุดให้เก็บทุกจุดที่มีการระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม

ไม่ควรเก็บใกล้ฝั่ง เช่นเดียวกันให้เก็บที่ระดับความลึก 1 เมตร (สำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกเกินกว่า 2 เมตร) หรือให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความลึก (สำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร) ยกเว้นการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจหา แบคทีเรีย ให้เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร จากผิวน้ำ

3.2.3 การเพิ่มปริมาณ Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM)

1. เทน้ำเปล่าลงในถังที่เตรียมไว้ 20 ลิตร (ควรเป็นน้ำคุณภาพน้ำดื่มหรือน้ำฝน แต่ถ้าใช้น้ำปะปาควรใส่ถังทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้คลอรีนสลายตัว)
2. เทกากน้ำตาล 1 ลิตร และหัวเชื้อจุลินทรีย์ EM 1 ลิตร ลงถังเล็ก ผสมให้เข้ากัน
3. เมื่อละลายแล้ว ให้เทลงในถังน้ำที่เราเตรียมไว้ และผสมอีกรอบให้เข้ากัน
4. ตักส่วนประกอบที่ได้ใส่ในขวดน้ำดื่มขนาด 1 ลิตร โดยทำภาชนะที่จะหมักอยู่ในสภาวะไร้อากาศโดยการปิดขวดแล้วปิดฝาขวดให้สนิท

5. ใช้เวลา 2-3 วัน ให้เปิดฝาดูเพื่อระบายแก๊สออก เขย่าให้เข้ากันเล็กน้อยแล้วปิดฝาดังเดิม ใช้เวลาหมัก 2 สัปดาห์ สังเกตดูฝ้าขาวที่เกิดขึ้นแสดงว่าจุลินทรีย์มีการเพิ่มจำนวนสามารถนำไปใช้ได้

3.2.4 การเตรียมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่จะนำมาทดลองจะกำหนดสภาวะการทดลอง 6 สภาวะ โดยแหล่งของน้ำเสียมาจากฟาร์มสุกรที่มีรูปแบบการเลี้ยงของสุกร 2 ประเภท คือ ฟาร์มสุกรพ่อแม่พันธุ์และฟาร์มสุกรขุน และมีรูปแบบการบำบัดน้ำเสียแตกต่างกัน คือ แบบบ่อปรับเสถียรและแบบบ่อไร้อากาศ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละแหล่งจำนวนแหล่งละ 150 ลิตร นำมาแบ่งเตรียมการทดลองประกอบด้วย ชุดทดลองที่ 1

1. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 75 ลิตร ตวงแบ่งใส่ภาชนะทดลองใบละ 25 ลิตร จำนวน 3 ใบ

2. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร 100 เปอร์เซ็นต์ + 1 เปอร์เซ็นต์ Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM) เป็นเวลา 7 วัน จำนวน 75 ลิตร ตวงแบ่งใส่ภาชนะทดลองใบละ 25 ลิตร จำนวน 3 ใบ

ชุดทดลองที่ 2

3. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 75 ลิตร ตวงแบ่งใส่ภาชนะทดลองใบละ 25 ลิตร จำนวน 3 ใบ

4. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร 100 เปอร์เซ็นต์ + 1 เปอร์เซ็นต์ Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM) เป็นเวลา 7 วัน จำนวน 75 ลิตร ตวงแบ่งใส่ภาชนะทดลองใบละ 25 ลิตร จำนวน 3 ใบ

ชุดทดลองที่ 3

5. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 75 ลิตร ตวงแบ่งใส่ภาชนะทดลองใบละ 25 ลิตร จำนวน 3 ใบ

6. น้ำเสียจากบ่อที่ 3 ของฟาร์มสุกรขุนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ + 1 เปอร์เซ็นต์ Effective microorganisms (เชื้อจุลินทรีย์ EM) เป็นเวลา 7 วัน จำนวน 75 ลิตร ตวงแบ่งใส่ภาชนะทดลองใบละ 25 ลิตร จำนวน 3 ใบ

3.2.5 สายพันธุ์ของแหนแดง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla microphylla* Kaulf

3.2.6 การวางบ่อทดลอง

การวางบ่อทดลองจะใช้วิธีการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD)

3.2.7 ภาชนะที่ใช้ในการทดลอง

ในแต่ละชุดการทดลองใช้กะละมังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 52 เซนติเมตร ความลึก 35 เซนติเมตร ปริมาณน้ำตัวอย่าง 25 ลิตร ระดับความสูงของน้ำเสีย 20 เซนติเมตร ใช้แห่แดงเริ่มต้น 100 กรัม (น้ำหนักแห่แดงสด) ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 21 วัน โดยไม่มีการเติมน้ำเสียและแห่แดงเพิ่มในระหว่างการทดลอง

3.2.8 การศึกษาความสามารถในการเจริญของแห่แดง (*Azolla microphylla*)

หลังจากทำการเตรียมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรตามข้อ 3.2.4 (1-6) ทำการชั่งแห่แดงลงเพาะเลี้ยง สภาวะละ 100 กรัม (น้ำหนักแห่แดงสด) โดยมีสภาวะการทดลองตามที่แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สภาวะการทดลองโดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 21 วัน

Treatment	ปริมาณ	
	EM (%)	Azolla (กรัม)
ชุดทดลองที่ 1		
บ่อปรับเสถียรฟาร์มสุกรพันธุ์ (BR)	-	100
บ่อปรับเสถียรฟาร์มสุกรพันธุ์ (BREM)	1	100
ชุดทดลองที่ 2		
บ่อปรับเสถียรฟาร์มสุกรขุน (FS)	-	100
บ่อปรับเสถียรฟาร์มสุกรขุน (FSEM)	1	100
ชุดทดลองที่ 3		
บ่อไร้อากาศฟาร์มสุกรขุน (Bio)	-	100
บ่อไร้อากาศฟาร์มสุกรขุน (BioEM)	1	100

3.2.9 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความเข้มแสงตามสภาพแสงตามธรรมชาติที่ 300,000-400,000 ลักซ์ โดยอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันอยู่ที่ 37-42 องศาเซลเซียส

3.2.10 การติดตามผลการทดลอง

- สังเกตความสามารถในการเจริญของแห่แดงเป็นเวลา 21 วัน
- บันทึกลักษณะและถ่ายภาพความสามารถในการเจริญของแห่แดงทุก 7 วัน เป็นเวลา 21

วัน

3.3 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของเห่นแดงจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ทำการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของเห่นแดงหลังจากการทดลอง โดยนำเห่นแดงที่ได้มาวางให้สะอาดเป็นเวลา 5 นาที นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาคำนวณหาระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นทวีคูณ (Doubling time) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate : RGR) นำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อหาปริมาณวัตถุแห้ง (% Dry matter basis, DM) และนำมาเผาด้วยเตาเผาเพื่อหาปริมาณเถ้า (Ash)

3.3.1 ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นทวีคูณ (Doubling time)

เวลาที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเป็นจำนวนวันที่ทำชีวมวลของเห่นแดงเพิ่มเป็นสองเท่า คำนวณเวลาโดยใช้สูตรการคำนวณของ Subudhi & Watanabe, (1981)

$$\text{Double time (DT)} = t/r$$

โดยที่ t = ระยะเวลาการทดลอง

$$r = \log (W1/W0) 0.301$$

เมื่อ $W1$ = น้ำหนักของเห่นแดง เมื่อ t วัน

$W0$ = น้ำหนักของเห่นแดงที่ใช้ในการเริ่มต้นทดลอง

3.3.2 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate: RGR)

อัตราการเจริญเติบโตของเห่นแดง แสดงเป็นอัตราการเติบโตรายวัน (RGR) ใช้การคำนวณโดยการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพทั้งหมด อัตราการเติบโตสัมพัทธ์คำนวณโดยใช้สูตร (Subudhi and Watanabe, 1981) โดย อัตราการเจริญเติบโตวัดโดยการเปรียบเทียบน้ำหนักของเห่นแดง ก่อนและหลังการทดลอง

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ($g^{-1} d^{-1}$) คำนวณโดยใช้สูตร:

$$RGR = (\ln W2 - \ln W1)/t$$

เมื่อ $W1$ และ $W2$ เป็นน้ำหนักสดเริ่มต้นและสุดท้าย และ t คือระยะเวลาทดลอง

3.3.3 ปริมาณวัตถุแห้ง (% Dry matter basis, DM)

การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

น้ำหนักตัวอย่าง

$$\% \text{ วัตถุแห้ง (Dry matter, DM)} = 100 - (\% \text{ ความชื้น})$$

$W1$ = น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

$W2$ = น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

3.3.4 ปริมาณเถ้า (Ash)

การคำนวณ

$$\% \text{ เถ้าทั้งหมด (Total Ash)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าทั้งหมด} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.4 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเหานแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้ง

3.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในเหานแดง

การวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในเหานแดง ซึ่งมีกลุ่มใหญ่ๆ 8 กลุ่ม ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมีศึกษาคุณค่าโภชนะของเหานแดงที่เลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

1. ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของเหานแดงหลังจากการทดลอง โดยนำเหานแดงที่ได้มาวางให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70-80 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2. นำเหานแดงที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN), ปริมาณไขมัน (Crude Fat), ปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF), ปริมาณแคลเซียม (Calcium, Ca), ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus, TP), ปริมาณโพแทสเซียม (Potassium, TK) โดยวิธีวิเคราะห์ตามที่แสดงในตารางที่ 11 (AOAC International, 2006)

ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในเหานแดง

องค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
น้ำหนักแห้ง (Dry Matter)	การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการอบแห้งที่ 102 °C
เถ้า (Ash)	เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส
โปรตีนรวม (Crude protein ,CP)	Kjeldahl method
ไขมัน (Crude fat)	สกัดตัวอย่างด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์
เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF)	Proximate Analysis
แคลเซียม (Calcium, Ca)	Atomic Absorption Spectrophotometer
ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P)	Yellow Method
โพแทสเซียม (Potassium, K)	Atomic Absorption Spectrophotometer

3.5 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังการเพาะเลี้ยงเหานแดง 21 วัน

วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั้งก่อน และหลังสิ้นสุดการทดลอง และวิเคราะห์การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

3.5.1. การศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของແໜແດງ

3.5.2. การศึกษาคุณภาพน้ำเสียก่อนการเพาะเลี้ยงແໜແດງ

หลังจากเตรียมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่จะนำมาทดลองโดยกำหนดสภาวะการทดลอง 6 สภาวะดังตารางที่ 10 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ที่ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

ตารางที่ 12 วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร

พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวิเคราะห์
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter) ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
บีโอดี (BOD)	ใช้วิธีบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน และหาค่าออกซิเจนละลายด้วยวิธีเอไซด์มอดิฟิเคชัน (Azide Modification) หรือวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane Electrode)
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TS)	ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 103- 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
ซีโอดี (COD)	ใช้วิธีการย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion) แบบ Open Reflux หรือ Closed Reflux
ทีเคเอ็น (Total Kjeldhal Nitrogen)	ใช้วิธีการเจลดาล์ (Kjeldahl) และให้ตรวจวัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการ Colorimetric หรือ Ammonia Selective Electrode
ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)	ใช้วิธีแอสคอร์บิกแอซิด (Ascorbic Acid) หรือวิธีวานาโดมอลิบ (Vanadomolybdophosphoric Acid) หรือวิธี สแตนนัสคลอไรด์ (Stannous Chloride)
โพแทสเซียม (K)	Nitric Acid Digestion and Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ที่มา : กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2564)

ซึ่งวิเคราะห์ค่าดัชนีบ่งชี้คุณสมบัติของน้ำเสียดังตารางที่ 12 โดยมีค่าของคุณภาพน้ำที่ต้องวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐาน ดังต่อไปนี้ pH, BOD, COD, SS, TKN, P, K (อ้างอิงจาก ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ราชกิจจานุเบกษา 4 มกราคม 2564) และวิธีการตรวจวิเคราะห์ดังแสดงตามตารางที่ 12

ทั้งนี้ การตรวจสอบคุณภาพน้ำทั้งจากฟาร์มสุกรต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียที่สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยกำหนดไว้ หรือตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd edition. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017) ที่ American Public Health Association (APHA), American Water Work Association (AWWA) และ Water Environment Federation (WEF) ของสหรัฐอเมริการ่วมกันกำหนดไว้ หรือตามวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

3.5.3 การศึกษาคุณภาพน้ำเสียหลังการเพาะเลี้ยงແຮ່ແຕ່ງ

หลังจากผ่านการทดลองเป็นเวลา 21 วันทำการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรอีกครั้ง ที่คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 ดังตารางที่ 12

3.5.4 การคำนวณร้อยละการกำจัด (%Removal)

การคำนวณร้อยละการกำจัด (%Removal) ของค่าคุณภาพน้ำทั้งจากฟาร์มสุกร

$$= [(ความเข้มข้นก่อน - ความเข้มข้นหลัง) / ความเข้มข้นก่อน] \times 100$$

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ ได้แก่

1. ร้อยละ
2. ค่าเฉลี่ย (Mean)
3. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
4. วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และ เปรียบเทียบความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 29.0 for Windows

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากผลการศึกษาความสามารถในการใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร 3 ประเภท คือ น้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ น้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของฟาร์มสุกรขุน และน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรขุน ในการเพาะเลี้ยงแหนแดง โดยมีการเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงด้วยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) 1 เปอร์เซ็นต์ (V/V) ในการทดลองครั้งนี้ใช้สถานะของน้ำเสีย 6 สถานะเพื่อศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตของแหนแดง

(*A. microphylla*) ประเมินอัตราการเจริญเติบโตของแหนแดง ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของแหนแดง และการประเมินความสามารถในการลดค่ามลสารในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของแหนแดง โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมาจากบ่อบำบัดน้ำเสียของฟาร์มเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรในอำเภอบัวใหญ่ อำเภอนนไทย และอำเภอนนสูง จังหวัดนครราชสีมา สังเกตการเจริญเติบโตของแหนแดงและถ่ายภาพทุก 0, 7, 14 และ 21 วัน

4.1 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างจากฟาร์มสุกรก่อนนำมาเพาะเลี้ยงแหนแดง

(*Azolla microphylla*)

ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างได้จากบ่อน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองก่อนการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ตารางแสดงคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างได้จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองก่อนการทดลอง

Treatment	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)	TK (mg/L)
BR	7.60 (±0.00)	154.00 (±0.00)	180.00 (±0.00)	1.20 (±0.02)	62.79 (±0.02)	57.10 (±1.80)	146.54 (±0.74)
BREM	7.40 (±0.00)	300.00 (±0.00)	1080.00 (±0.00)	1.40 (±0.04)	50.53 (±0.45)	115.18 (±4.21)	153.04 (±0.16)
FS	8.10 (±0.00)	1950.00 (±0.00)	920.00 (±0.00)	0.30 (±0.04)	54.34 (±0.04)	212.19 (±0.74)	452.12 (±1.98)
FSEM	7.30 (±0.00)	1660.00 (±0.00)	1280.00 (±0.00)	0.50 (±0.02)	29.14 (±0.15)	284.30 (±11.62)	833.36 (±0.86)
Bio	7.60 (±0.00)	1995.00 (±0.00)	570.00 (±0.00)	0.90 (±0.11)	4.13 (±0.09)	2042.41 (±5.36)	556.22 (±0.12)
BioEM	7.60 (±0.00)	3120.00 (±0.00)	910.00 (±0.00)	1.00 (±0.02)	8.82 (±0.17)	6869.01 (±11.99)	601.21 (±0.09)

หมายเหตุ:

BR = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์

BREM = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์+EM

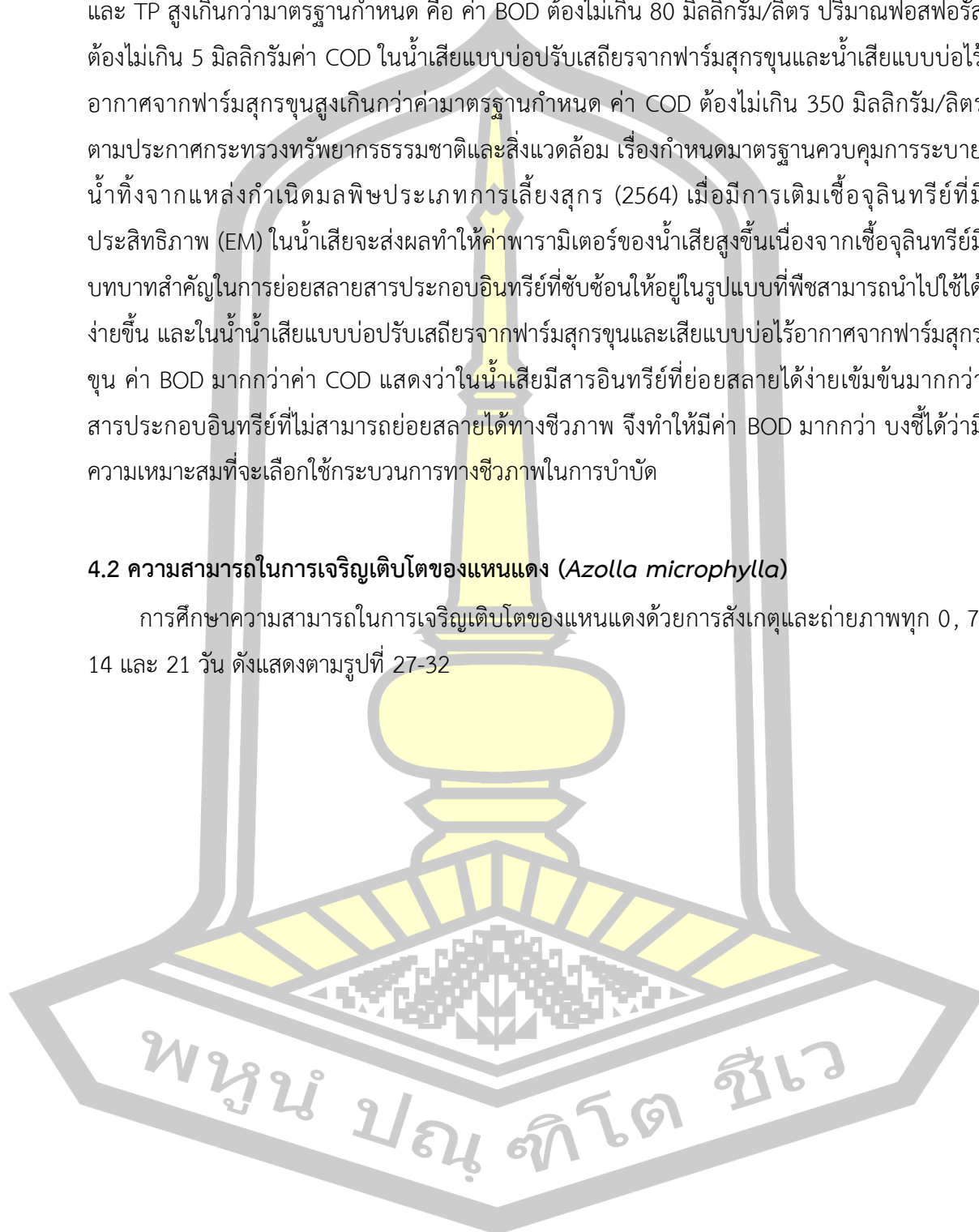
FS = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน FSEM = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน+EM

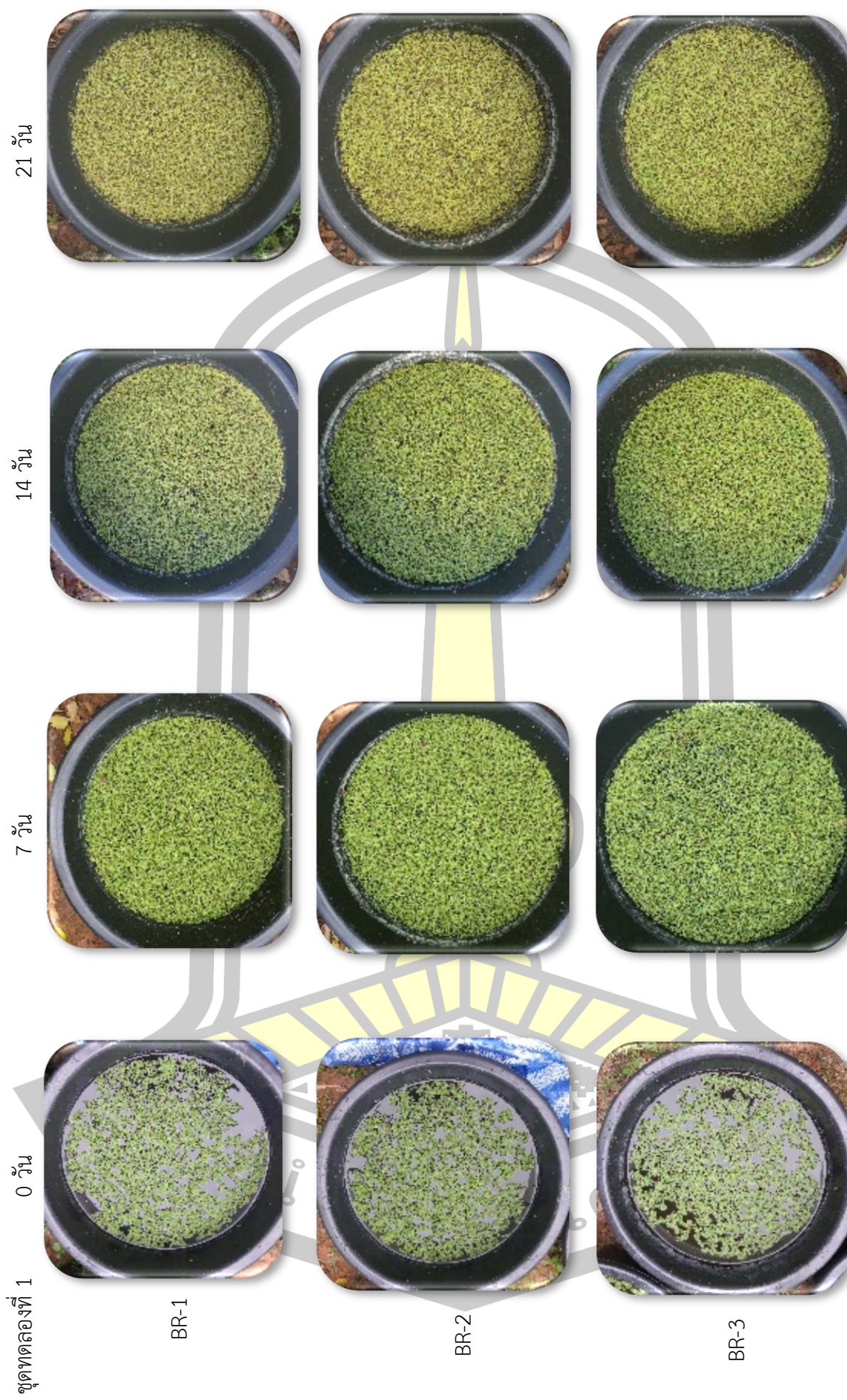
Bio = น้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน BioEM = น้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน+EM

จากตารางที่ 13 พบว่าคุณลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างจากบ่อน้ำเสียทั้งสามแหล่งค่า BOD และ TP สูงเกินกว่ามาตรฐานกำหนด คือ ค่า BOD ต้องไม่เกิน 80 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณฟอสฟอรัส ต้องไม่เกิน 5 มิลลิกรัมค่า COD ในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุนและน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุนสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด ค่า COD ต้องไม่เกิน 350 มิลลิกรัม/ลิตร ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (2564) เมื่อมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ในน้ำเสียจะส่งผลทำให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียสูงขึ้นเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น และในน้ำน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุนและเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกร ขุน ค่า BOD มากกว่าค่า COD แสดงว่าในน้ำเสียมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายเข้มข้นมากกว่า สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงทำให้มีค่า BOD มากกว่า บ่งชี้ได้ว่ามีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัด

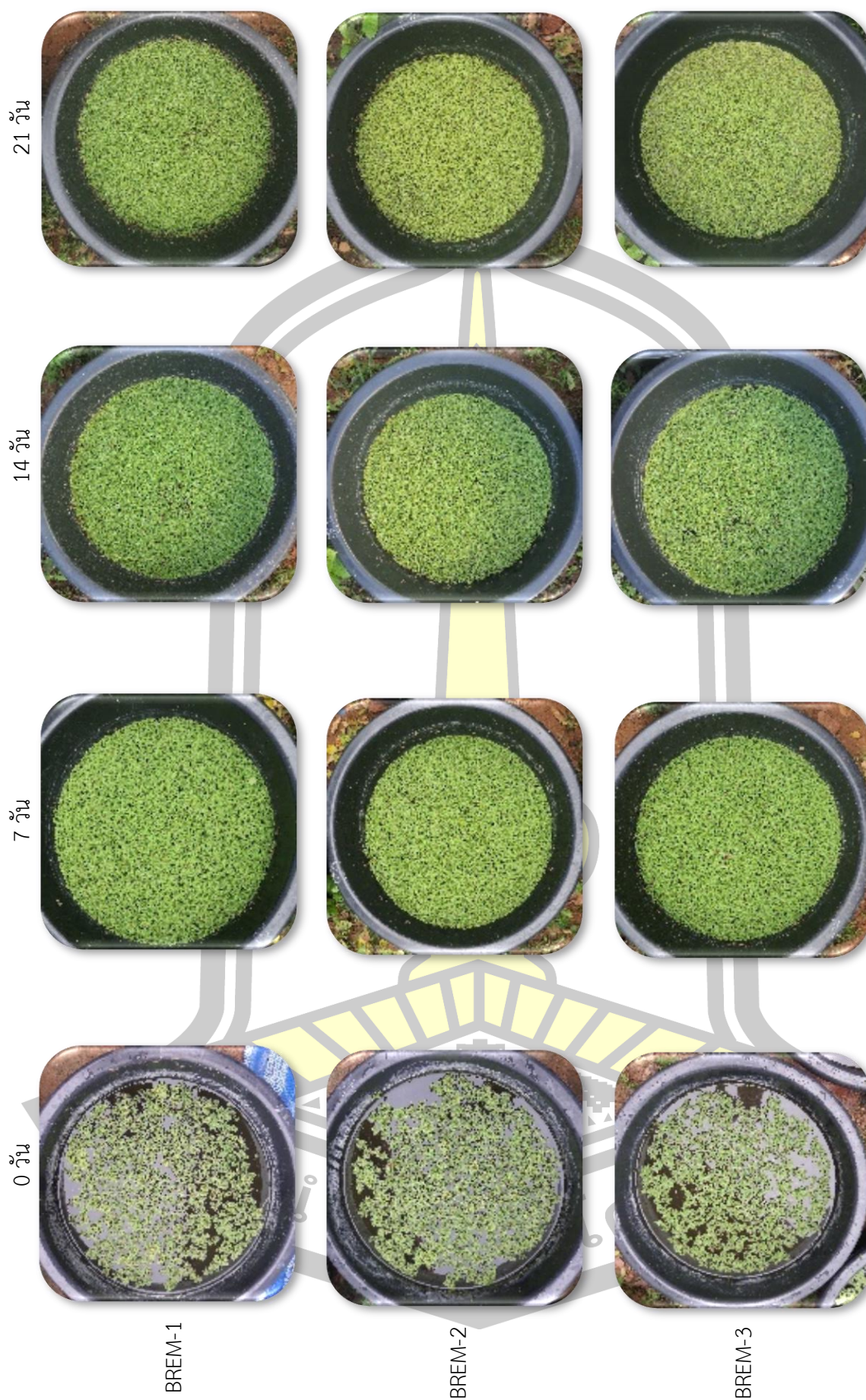
4.2 ความสามารถในการเจริญเติบโตของแหนแดง (*Azolla microphylla*)

การศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตของแหนแดงด้วยการสังเกตและถ่ายภาพทุก 0, 7, 14 และ 21 วัน ดังแสดงตามรูปที่ 27-32

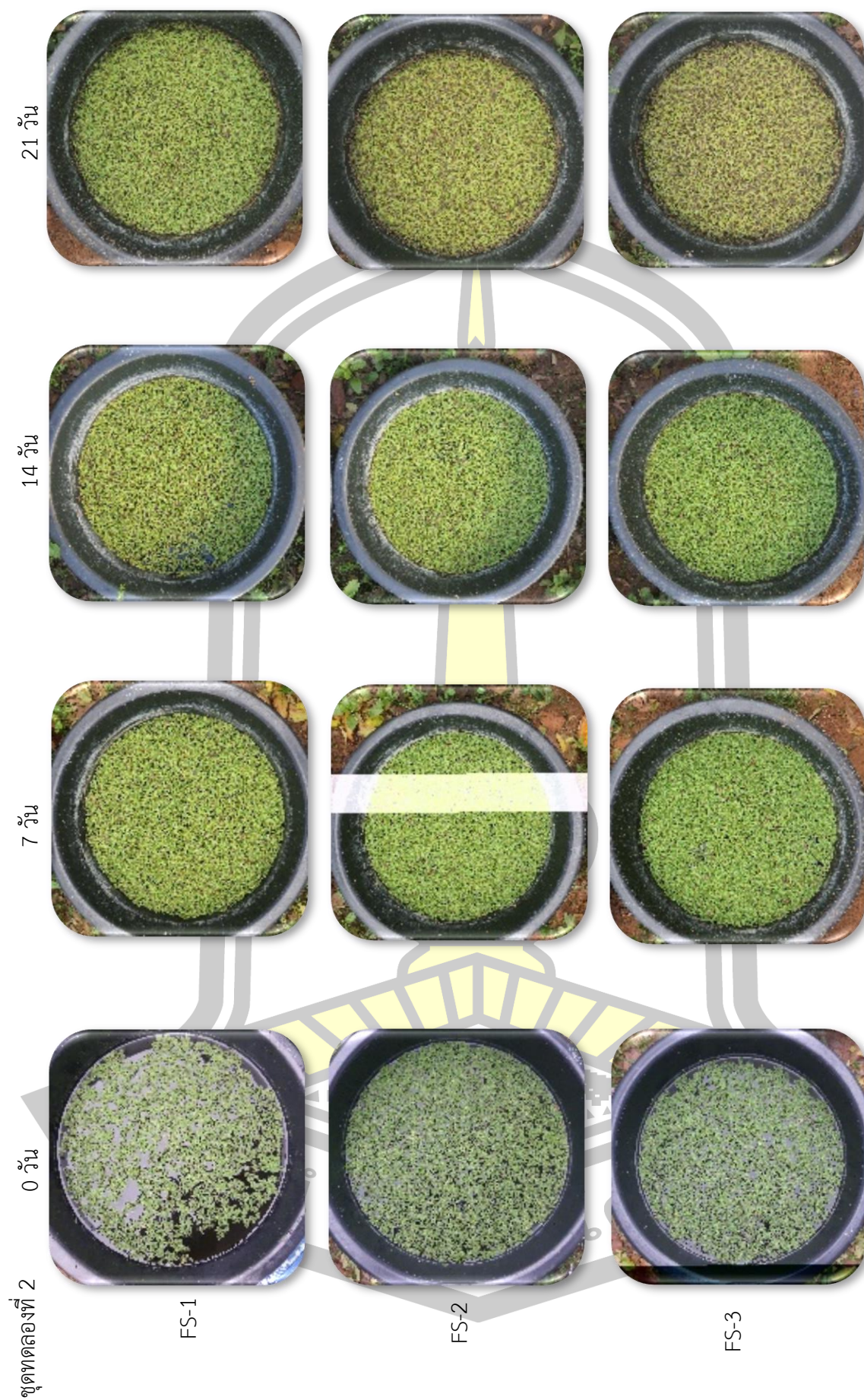




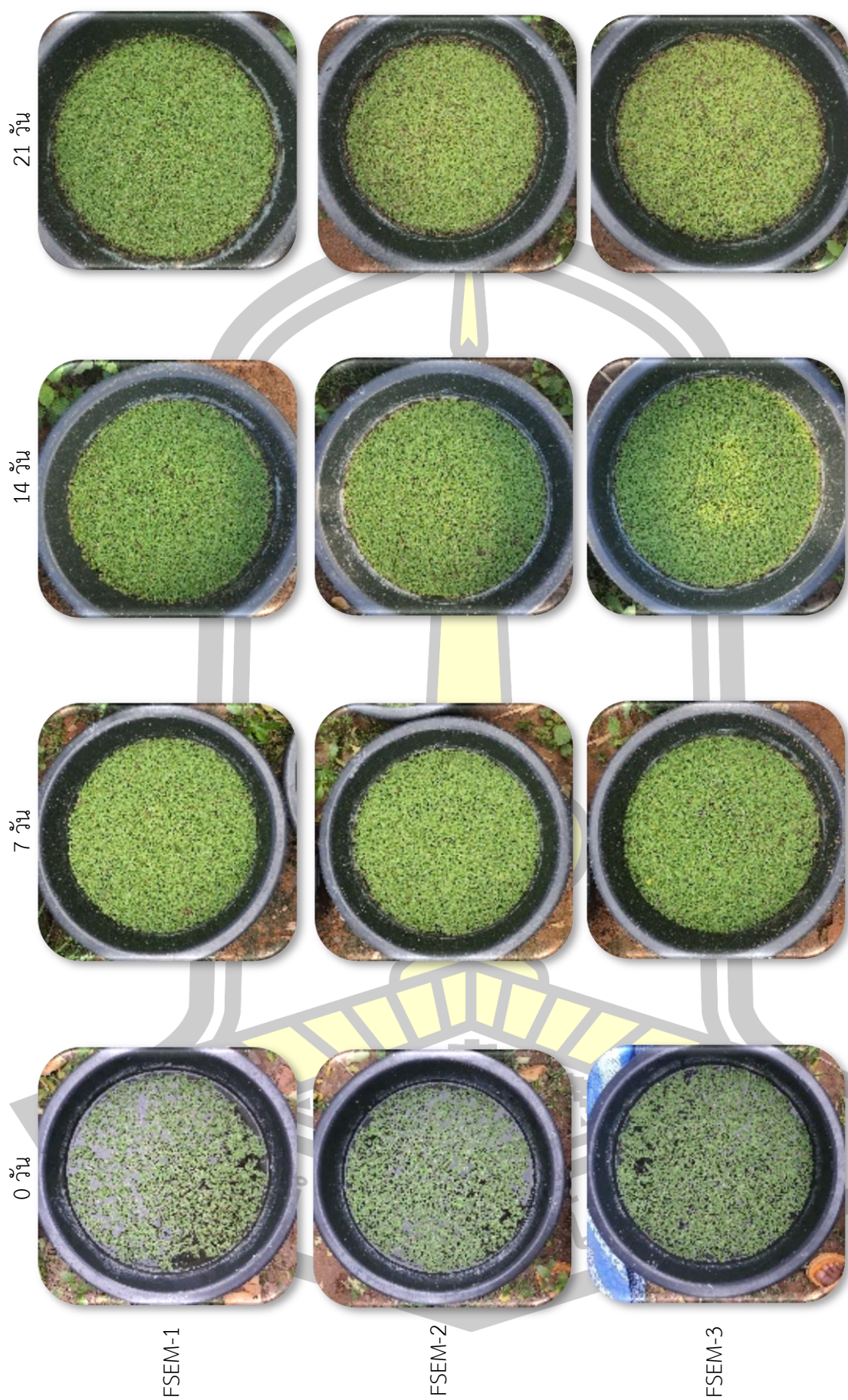
รูปที่ 27 แสดงการเจริญเติบโตของแทนแดงในน้ำเสียแบบปรับสภาพจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน



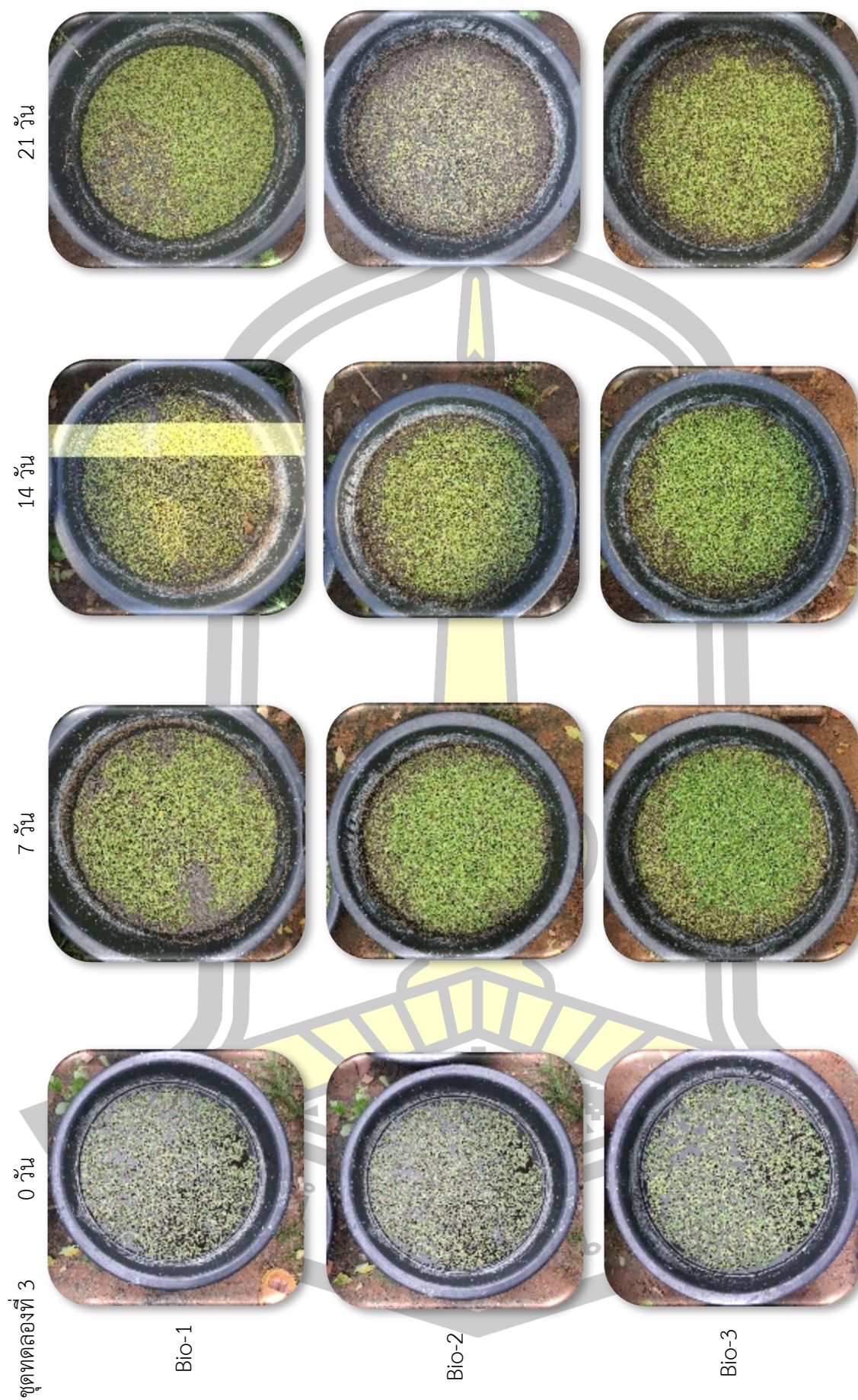
รูปที่ 28 แสดงการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนน้ำสีเขียวจากฟาร์มสุกรฟอ-แม่พันธุ์+EM ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน



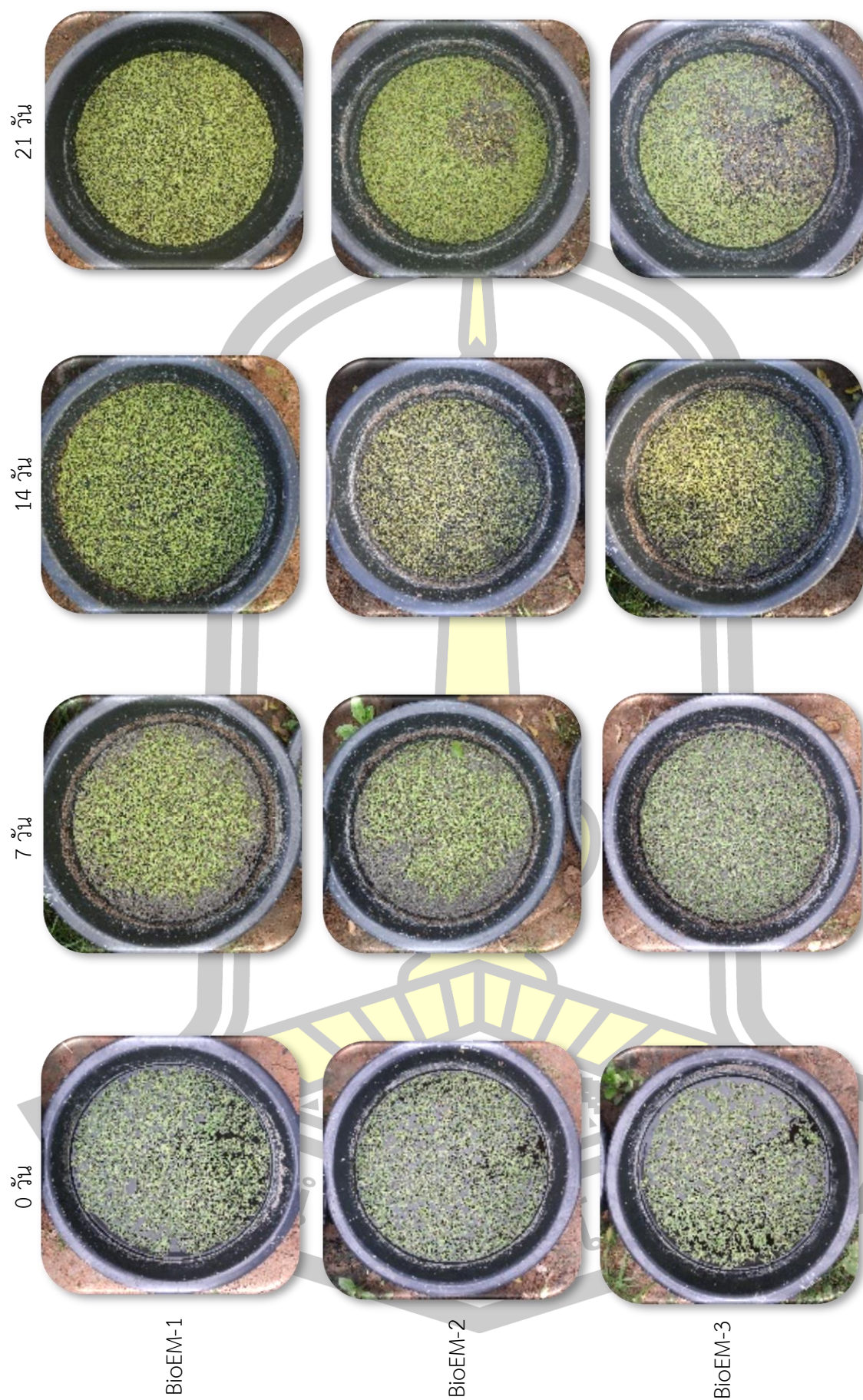
รูปที่ 29 แสดงการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนน้ำสีเขียวจากฟาร์มสุกรขุนที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน



รูปที่ 30 แสดงการเจริญเติบโตของเห็ดในเส้นใยแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน+EM ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน



รูปที่ 31 แสดงการเจริญเติบโตของแทนแทนในน้ำเสียแบบป๋อไรอากาศจากฟาร์มสุกรขุนที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน



รูปที่ 32 แสดงการเจริญเติบโตของแทนแดงในน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน+EM ที่ 0 วัน, 07 วัน, 14 วัน และ 21 วัน

- การเจริญเติบโตของเห็ดแดงที่ 0 วัน

หลังจากทำการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียแล้ว ซึ่งเห็ดแดงจำนวน 100 กรัม ใส่ลงในภาชนะ เกลี่ยให้เห็ดแดงหายไปในชิ้นทั้งหมดและกระจายทั่วอ่างเลี้ยง ดังรูปที่ 27-32

- การเจริญเติบโตของเห็ดแดงที่ 7 วัน

หลังครบ 7 วัน เห็ดแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้น สังเกตได้ว่าเห็ดแดงในกลุ่มที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่เติม EM จะมีลำต้น ใบที่อวบน้ำ และสีเขียวสดมากกว่า จากผลที่เกิดขึ้นสันนิษฐานได้ว่าการเติมเชื้อจุลินทรีย์ EM ลงในน้ำเสียสามารถช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียเป็นธาตุอาหารเพื่อให้เห็ดแดงได้นำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดี ส่วนในน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจะเห็นว่าจะมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนน้อยที่สุดเนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดในบ่อไร้อากาศจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำน้อยจะมีผลต่อการดำรงชีพของเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำและการเจริญเติบโตของเห็ดแดง ดังรูปที่ 27-32

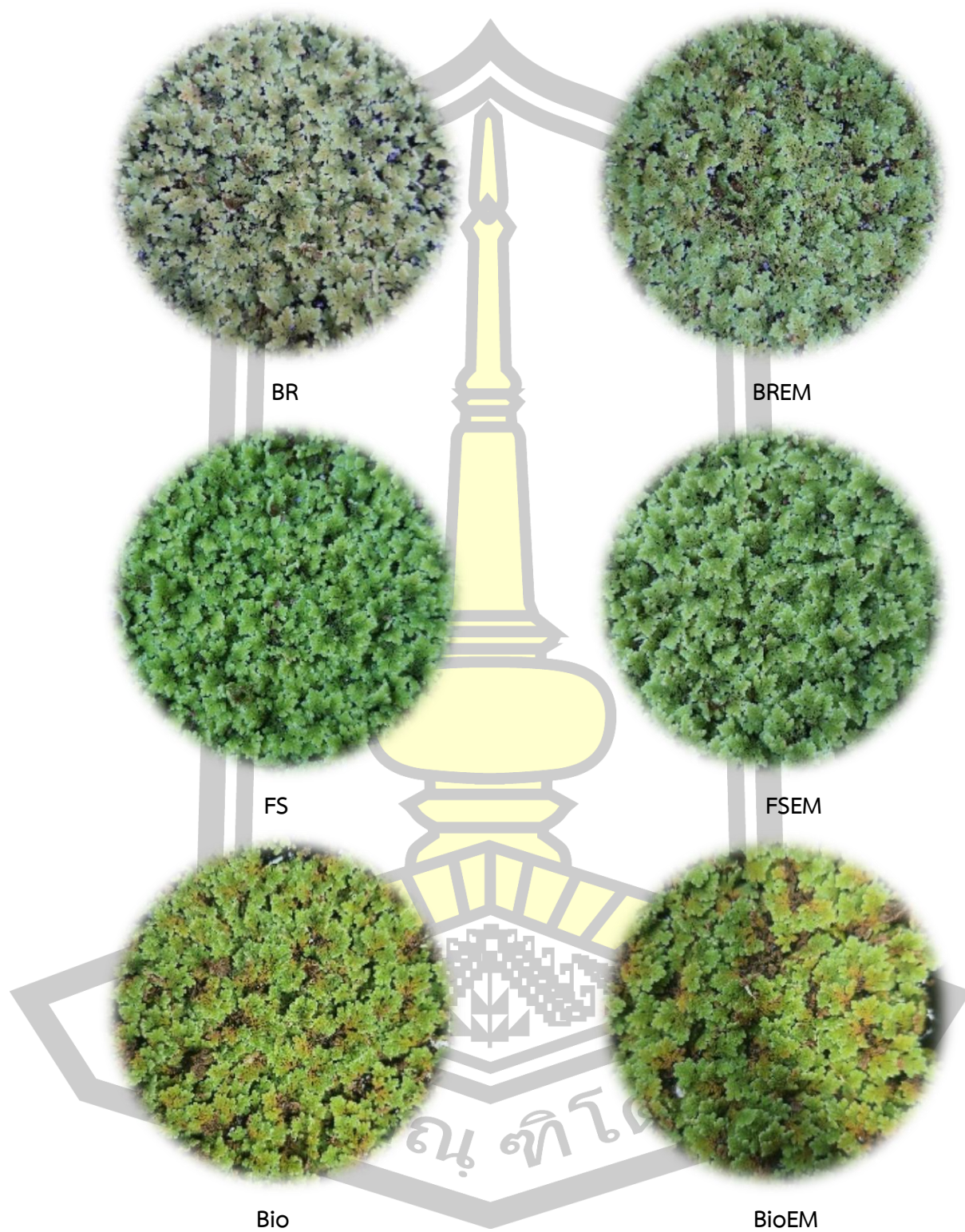
- การเจริญเติบโตของเห็ดแดงที่ 14 วัน

หลังครบ 14 วัน เห็ดแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนจนเริ่มเต็มพื้นผิวหน้าอ่างเลี้ยง เห็ดแดงในกลุ่มที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่เติม EM จะมีลำต้น ใบที่อวบน้ำ และสีเขียวสดมากกว่า จากผลที่เกิดขึ้นสันนิษฐานได้ว่าการเติมเชื้อจุลินทรีย์ EM ลงไปในน้ำเสียยังสามารถช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียเป็นธาตุอาหารเพื่อให้เห็ดแดงได้นำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดี ส่วนในน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจะเห็นว่าจะมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนน้อยที่สุดเนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดในบ่อไร้อากาศจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำน้อยจะมีผลต่อการดำรงชีพของเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำและการเจริญเติบโตของเห็ดแดง ดังรูปที่ 27-32

- การเจริญเติบโตของเห็ดแดงที่ 21 วัน

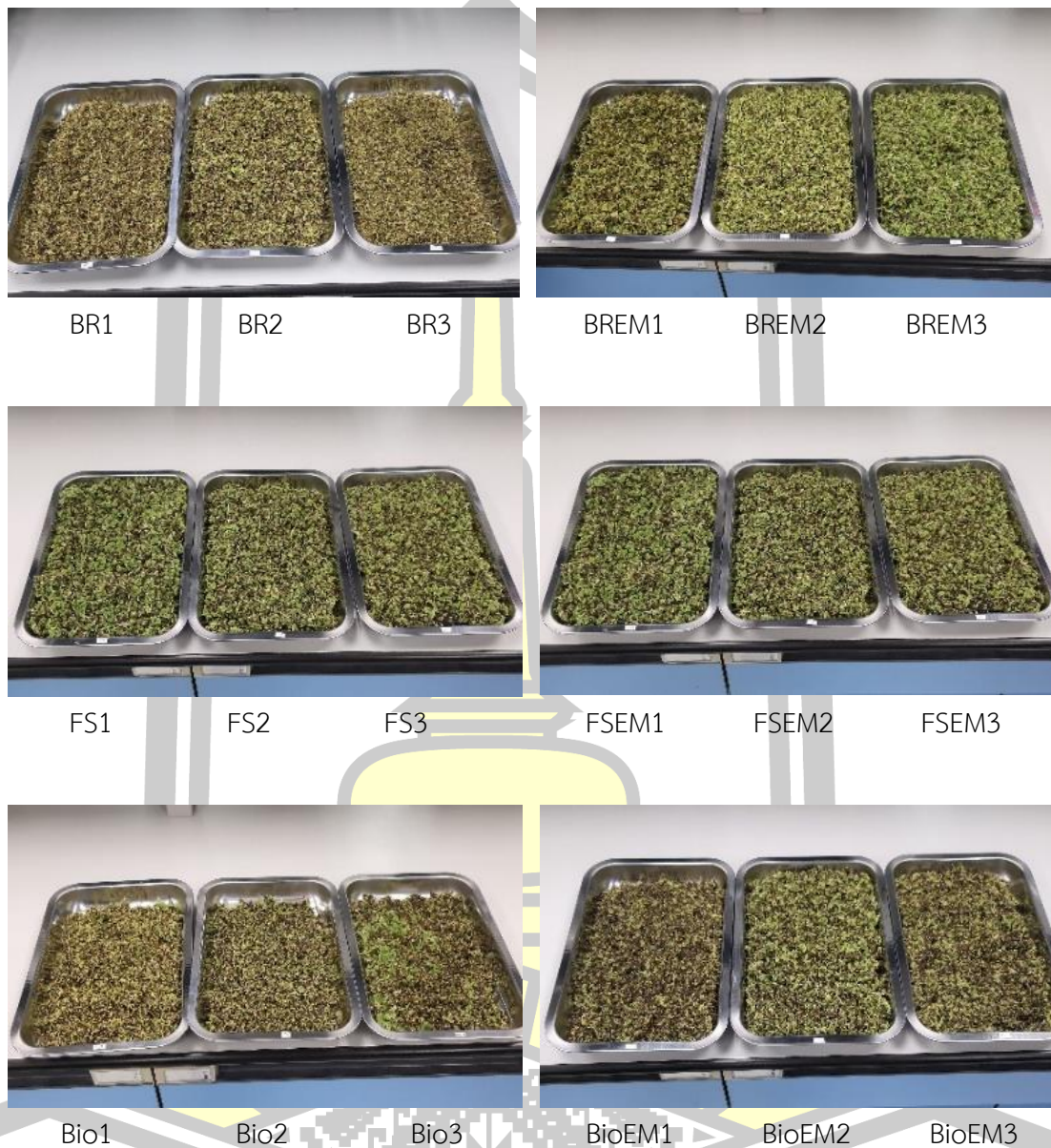
หลังครบ 21 วัน เห็ดแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนคงที่ โดยเริ่มมีกลุ่มของน้ำเสียจากบ่อ BR, บ่อ FS เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส่วนกลุ่มที่มีการเติม EM ได้แก่ บ่อ BREM และ บ่อ FSEM เห็ดแดงยังมีความเขียวสดอยู่ ซึ่งสันนิษฐานว่าเชื้อจุลินทรีย์ใน EM ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียเป็นธาตุอาหารเพื่อให้เห็ดแดงได้นำไปใช้ได้ ส่วนเห็ดแดงในกลุ่ม Bio ทั้งเดิมและไม่เติม EM พบมีปริมาณเห็ดแดงที่ตายเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 27-32

- ลักษณะของเห็ดแครงหลังเพาะเลี้ยง 21 วัน



รูปที่ 33 แสดงลักษณะของเห็ดแครงที่เลี้ยงในน้ำเสียแต่ละประเภทหลังครบ 21 วัน

การเก็บเกี่ยวเห็ดแดงหลังเพาะเลี้ยงในน้ำเสียครบ 21 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ

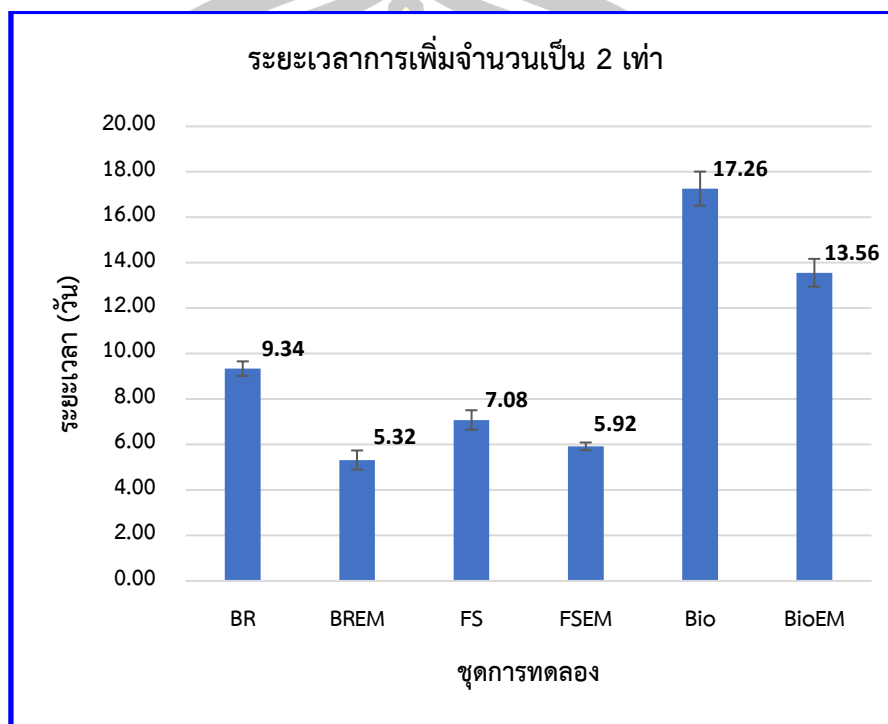


รูปที่ 34 แสดงลักษณะของเห็ดแดงหลังการเก็บเกี่ยว

หมายเหตุ: BR = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์
 BREM = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์+EM
 FS = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน
 FSEM = น้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน+EM
 Bio = น้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน
 BioEM = น้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน+EM

4.3 การประเมินอัตราการเจริญเติบโตของเห็บแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

4.3.1 อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (Doubling time)

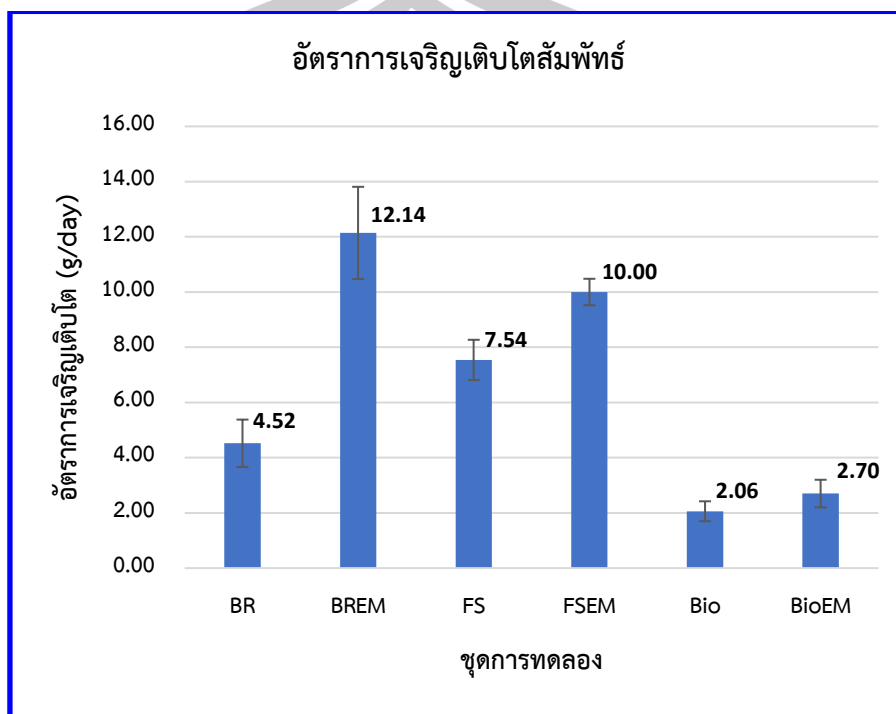


รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (วัน)

อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าของเห็บแดงจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรจากสภาวะการทดลอง 6 สภาวะ หากพิจารณาตามความเหมาะสมในสภาวะและพื้นที่ในการขยายพันธุ์ เห็บแดงสามารถขยายตัวเป็น 2 เท่า ในเวลา 3-6 วัน (ประยูร สวัสดิ์ และ บรรหาร แดงจำ, 2545) จากรายงานของศิริภรณ์ ชื่นบาล และ ฐปน ชื่นบาล (2558) พบว่าเห็บแดงใช้ระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าประมาณ 4-5 วัน และมีปริมาณของแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเห็บแดงในแหล่งน้ำเพียงพอ ได้แก่ โพแทสเซียม เหล็ก โมลิบดีนัม แมกนีเซียม แคลเซียม แมงกานีส และโบรอน เป็นต้น (ประยูร สวัสดิ์ และ บรรหาร แดงจำ, 2545) ในการทดลองพบว่าระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าในกลุ่มที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่ากลุ่มที่ไม่เติม อันเนื่องมาจากการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น และพบว่าในน้ำเสียมีความเข้มข้นของมลสารสูงขึ้นเห็บแดงจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้าลงและมีการตายในช่วงระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองเห็บแดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพอ-แม่พันธุ์+EM ให้อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าดีที่สุด ในชุดการทดลองระหว่างการ

เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติมทั้ง 3 ชุดทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

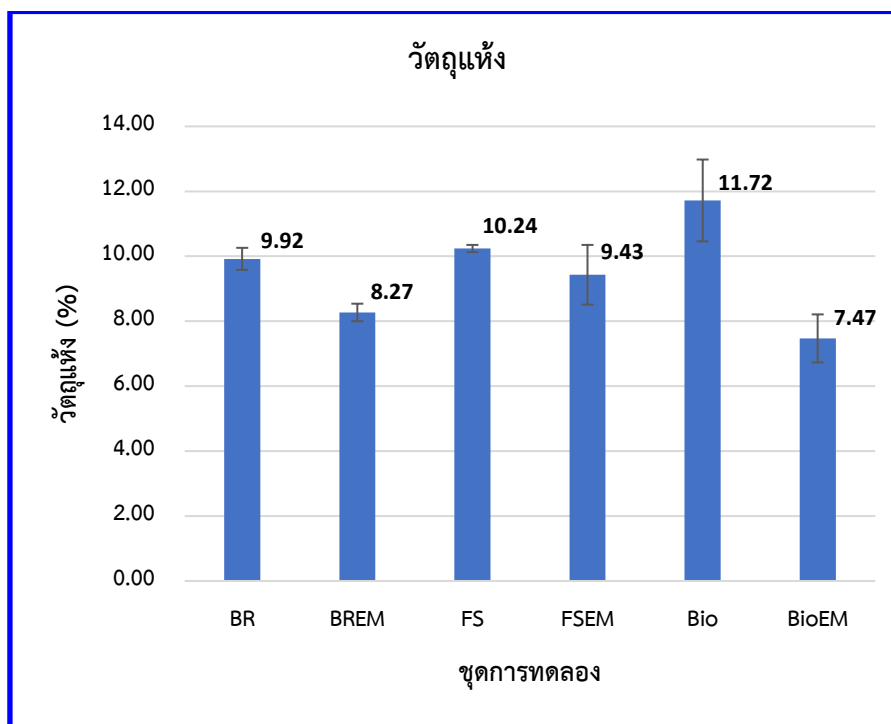
4.3.2 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate : RGR)



รูปที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต (g/day)

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ เป็นผลมาจากสภาพพื้นที่และสภาวะที่เหมาะสมและมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ที่มีปัจจัย รวมถึงปริมาณของแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของແໜແຈງ ได้แก่ โปแทสเซียม เหล็ก โมลิบดีนัม แมกนีเซียม แคลเซียม แมงกานีส และโบรอน เป็นต้น (ประยูร สวัสดิ์, และ บรรหาร แต่งฉำ, 2545) จากรูปที่ 36 การคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของແໜແຈງในน้ำเสียทั้ง 6 สภาวะ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ในกลุ่มที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่ากลุ่มที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจากการทดลองແໜແຈງที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์+EM ให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ดีที่สุด ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และแหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

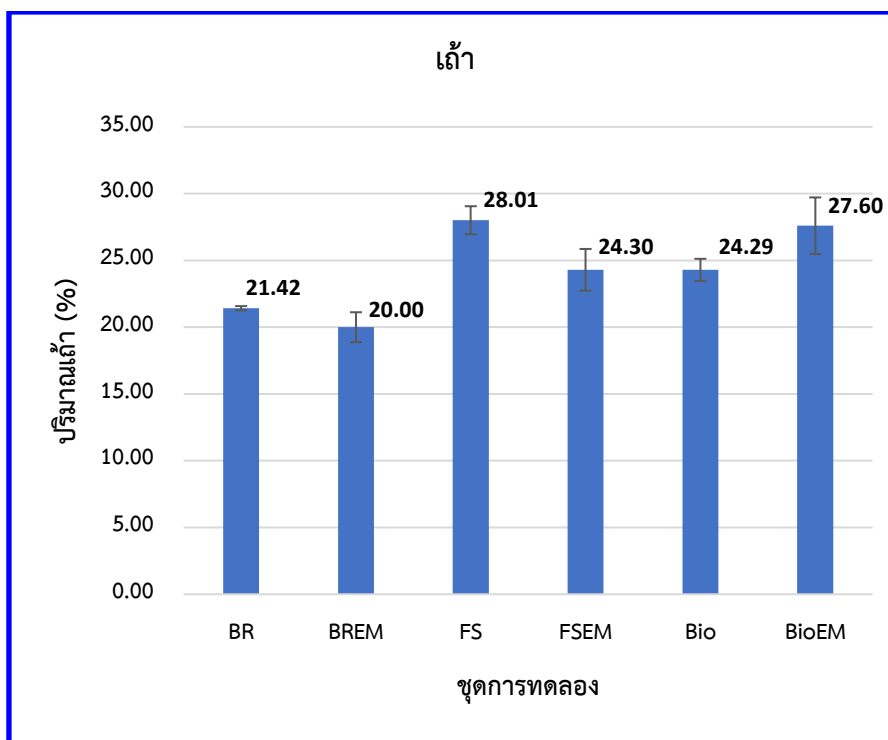
4.3.3 ปริมาณวัตถุแห้ง (% Dry matter basis, DM)



รูปที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณวัตถุแห้ง (%) ของແໜແດງ

การวิเคราะห์หาค่าปริมาณวัตถุแห้งของແໜແດງจะแสดงให้เห็นว่าถ้าค่าปริมาณวัตถุแห้งต่ำ แสดงว่าແໜແດງที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่อุดมสมบูรณ์ด้วยสารอาหาร จะทำให้เจริญเติบโตได้มาก ลำต้นอวบ มีการอุ้มน้ำในเซลล์ได้มาก (ทองปาน ลัดดาวงค์ และคณะ, 2564) ค่าปริมาณวัตถุแห้งในແໜແດງจะมีการแปรผันกับอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ จากรูปที่ 37 แໜແດງจากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรทั้ง 6 สภาวะ จากผลแสดงให้เห็นว่าແໜແດງที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่าจึงมีค่าปริมาณวัตถุแห้งที่ต่ำกว่าແໜແດງที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และแหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.3.4 ปริมาณเถ้า (Ash)

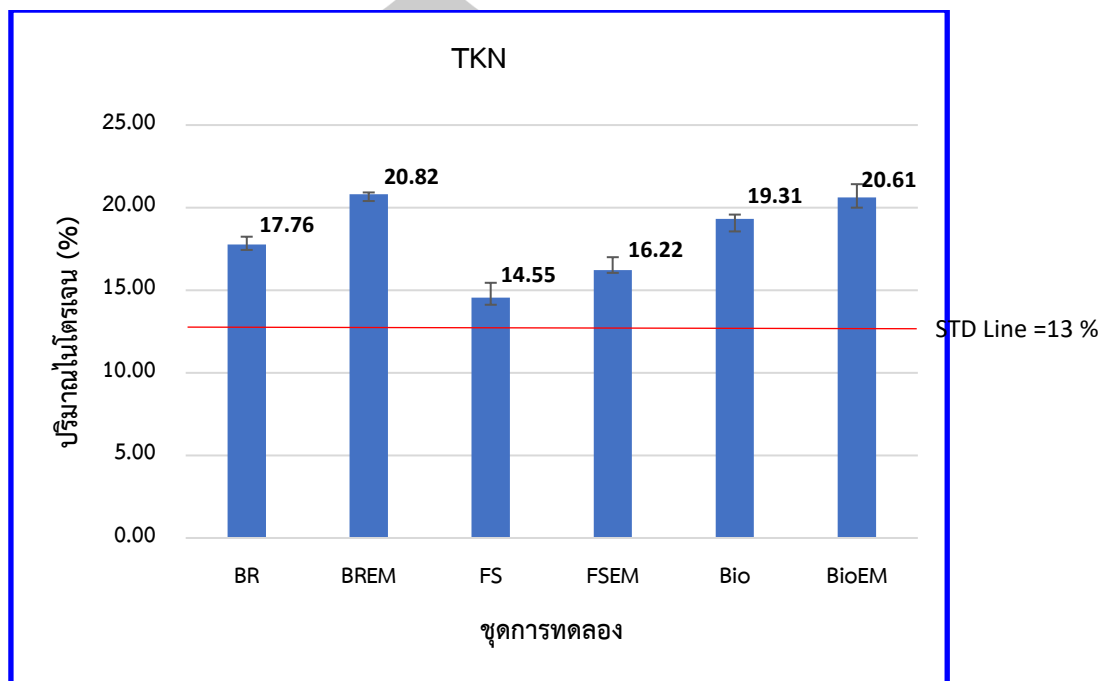


รูปที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเถ้า (%) ของแผนแดง

เถ้า (Ash) คือ ส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ การนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้หมดไปเหลือส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ค่าของเถ้าบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ไว้ในเซลล์ของแผนแดง ค่าของเถ้าของแผนแดงสูงหมายถึงมีการเก็บสะสมแร่ธาตุไว้มาก จากรูปที่ 38 แสดงให้เห็นว่าแผนแดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียสถานะที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจะมีปริมาณเถ้าต่ำกว่าแผนแดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ยกเว้นแผนแดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุนที่ปริมาณเถ้าในสถานะที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีปริมาณเถ้าสูงกว่า เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำที่แตกต่างกันอาจจะมีผลต่อการเก็บสะสมแร่ธาตุไว้ในเซลล์เนื้อเยื่อของแผนแดง จึงไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรฟอ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และแหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.4 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของແຫນແຕງທີ່ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

4.4.1 ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)



รูปที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ TKN (%) ในແຫນແຕງ

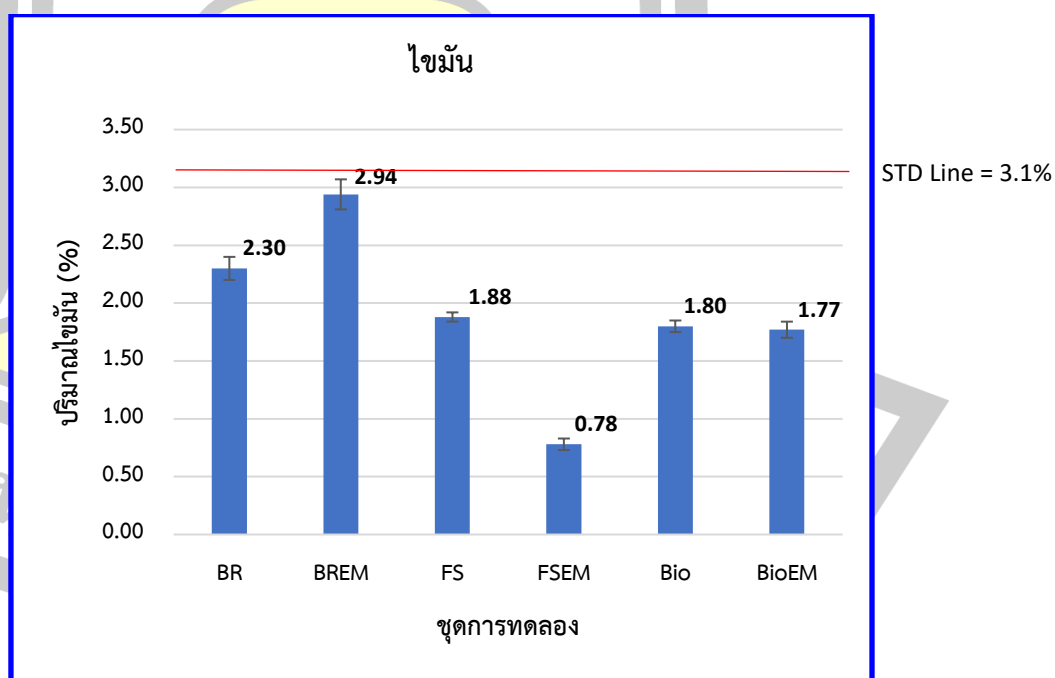
ແຫນແຕງเป็นพืชที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เนื่องจากความสัมพันธ์ทางชีวภาพกับ

ไซยาโนแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศทำให้ແຫນແຕງมีองค์ประกอบที่อุดมด้วยไนโตรเจน ทำให้ແຫນແຕງเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สามารถนำไปใช้ในการเกษตรและการใช้งานอื่นๆ ในແຫນແຕງหลังครบระยะการเพาะเลี้ยง 21 วันจะพบว่าແຫນແຕງจะมีการเก็บสะสมไนโตรเจนมากที่สุดเมื่อเทียบกับธาตุในกลุ่ม Mineral elements โดยทั่วไปพืชจะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณ 1-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อพืชเนื่องจากเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของรงควัตถุในใบสีเขียวคือ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และเป็นตัวตั้งต้นในการสร้างสารประกอบในพืชอีกหลายชนิด จากการทดลองของ รุปน ชื่นบาล และคณะ (2564) จอกที่เลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีค่าไนโตรเจนที่ 17.64 เปอร์เซ็นต์จะเห็นได้ว่าແຫນແຕງที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรบางสภาวะจะมีประสิทธิภาพในการเก็บไนโตรเจนได้ดีกว่า จากรูปที่ 39 แสดงความสามารถในการเก็บธาตุไนโตรเจนในน้ำเสียไว้ในเซลล์ของແຫນແຕງ และพบว่าอัตราการสะสมไนโตรเจนของແຫນແຕງมีความสัมพันธ์กับการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ แຫນແຕງที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจะมีผลกับปริมาณไนโตรเจนที่เก็บสะสมภายในเซลล์เนื้อเยื่อของແຫນແຕງที่ดีกว่า เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเป็นตัวช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทำให้ปริมาณไนโตรเจนตั้งต้นที่มีอยู่

ในแหล่งน้ำเสียสูงขึ้นและแผนแดงสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ จากการทดลองแผนแดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์+EM ให้ปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และแหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน แหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.4.2 ปริมาณไขมัน (Fat)

มีการศึกษารายงานว่าแผนแดงโดยทั่วไปมีปริมาณไขมันค่อนข้างต่ำ ตั้งแต่ 0.3% ถึง 2.5% โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณไขมัน (Fat) ในแผนแดงจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสร้างและเก็บไขมันไว้ในเซลล์ หลังการเพาะเลี้ยงแผนแดงในน้ำเสียทั้ง 6 สภาวะครบ 21 วัน จะเห็นว่าสารอาหารในแหล่งน้ำที่เพาะเลี้ยงลดลงไม่ว่ากลุ่มธาตุอาหารหลัก เช่น พลังงาน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นผลให้แผนแดงได้รับสารอาหารน้อยลง ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแผนแดงเริ่มลดลง การที่สารอาหารในน้ำเสียน้อยลงจะส่งผลให้แผนแดงลดการนำเอาพลังงานไปใช้ในการเจริญเติบโต เกิดการสะสมอาหารมากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไขมันสูงขึ้น ปริมาณไขมันของแผนแดงโดยทั่วไปประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด ได้แก่ ไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว



รูปที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไขมัน (%) ของแผนแดง

เปรียบเทียบกับการศึกษาทดลองของ Alalade & Lyayi (2006) แสดงไว้เท่ากับ 2.70 เปอร์เซ็นต์ Basak et. al. (2002) แสดงไว้เท่ากับ 3.47 เปอร์เซ็นต์ Tamang & Samanta (1993) แสดงไว้

เท่ากับ 2.70 เปอร์เซ็นต์ซึ่งก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกับปริมาณไขมันจากแหล่งที่ได้จากการทดลองจากรูปที่ 40 จากผลแสดงให้เห็นว่าอัตราการสะสมไขมันของแหล่งที่ไม่มีความสัมพันธ์กับการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโต แต่จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสีย จากการทดลองแหล่งที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ และผสม EM ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุด ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ แหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.4.3 ปริมาณเยื่อใยอาหาร (Fiber)

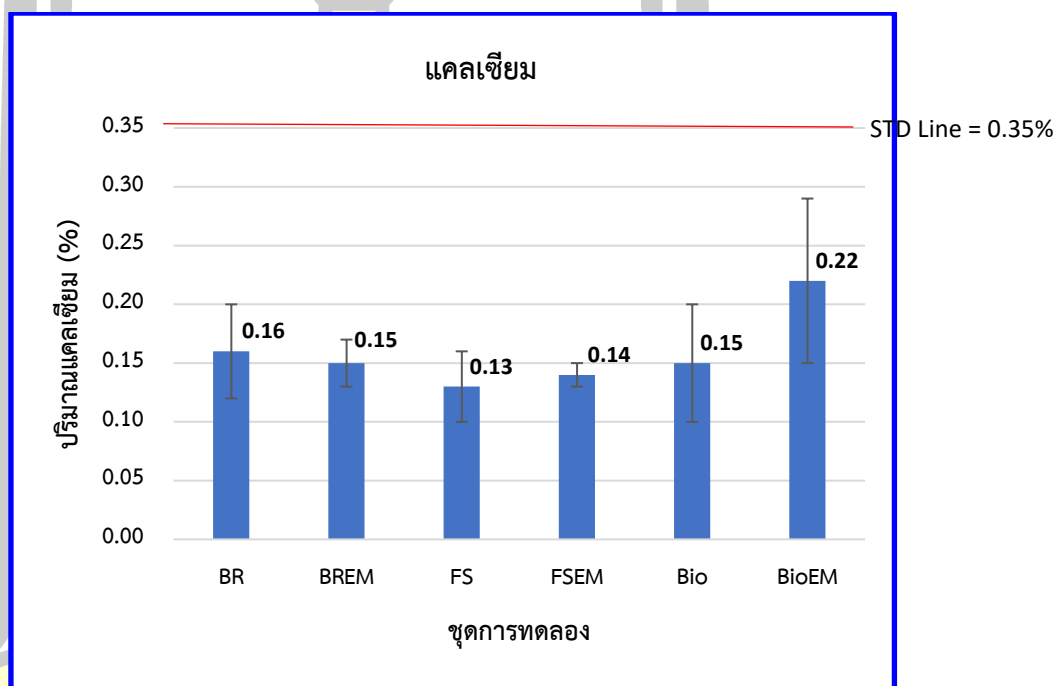


รูปที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเยื่อใยอาหาร (%) ของแหล่ง

ปริมาณเยื่อใยอาหาร (Fiber) ในแหล่ง แหล่งเยื่อใยอาหาร คือ ส่วนประกอบที่เป็นกากอาหารของพวกพืช ผัก ผลไม้ ธัญพืช และเมล็ดพันธุ์ต่างๆ ซึ่งน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร และลำไส้ของมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นจึงถูก ขับออกมาที่อุจจาระ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย จากการทดลองจะพบว่าแหล่งที่เลี้ยงในน้ำเสียที่อุดมสมบูรณ์ด้วยสารอาหาร จะทำให้เจริญเติบโตได้มาก ลำต้นอวบ และอึมน้ำมากเกินไป เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยอาหารจะมีปริมาณเยื่อใยอาหารน้อย จากการทดลองของ รูปน ชื่นบาล และคณะ (2564) จอกที่เลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีเยื่อใยอาหารที่ 18.95 เปอร์เซ็นต์ ผลวิเคราะห์ของ Alalade & Lyayi, (2006) แสดงไว้เท่ากับ 12.70

เปอร์เซ็นต์ Basak et. al. (2002) เท่ากับ 15.71 เปอร์เซ็นต์ Khatun et. al. (1999) แสดงไว้เท่ากับ 12.30 เปอร์เซ็นต์ Tamang & Samanta, (1993) แสดงไว้เท่ากับ 12.70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกับปริมาณเยื่อใยอาหารจากเห็ดแดงที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่ 41 แสดงให้เห็นว่าปริมาณเยื่อใยอาหารของเห็ดแดงในกลุ่มที่มีอัตราเจริญเติบโตสูงจะมีปริมาณเยื่อใยอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ เห็ดแดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ให้ปริมาณเยื่อใยอาหารสูงที่สุด ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ แหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.4.4 ปริมาณแคลเซียม (Ca)

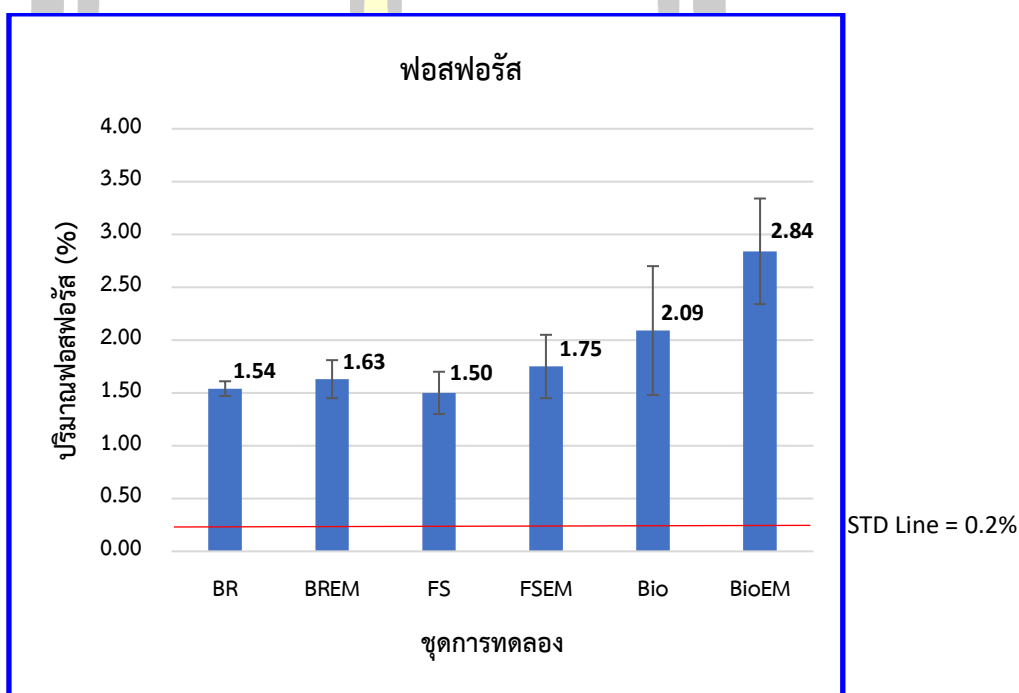


รูปที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียม (%) ในเห็ดแดง

ปริมาณแคลเซียมในเห็ดแดงแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดึง Ca^{2+} ไปใช้ในการเจริญเติบโตและเก็บไว้ในเซลล์ แคลเซียมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในพืช อาทิเช่น การสร้างผนังเซลล์ การกระตุ้นเอนไซม์ เป็นต้น การดูดซึมแคลเซียมของเห็ดแดงได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำ ระดับ pH อุณหภูมิ และความพร้อมของธาตุอาหาร เปรียบเทียบกับการทดลองของ Alalade & Lyayi (2006) แสดงไว้เท่ากับ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกับปริมาณแคลเซียมจากเห็ดแดงที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่ 42 แสดงให้เห็นว่าการสะสมแคลเซียมในเซลล์เนื้อเยื่อของเห็ดแดงไม่มีความสัมพันธ์กับการเติม

เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโตจะขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซียมตั้งต้นที่มีอยู่ในแหล่งน้ำเสีย ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน และแหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.4.5 ปริมาณฟอสฟอรัส (P)

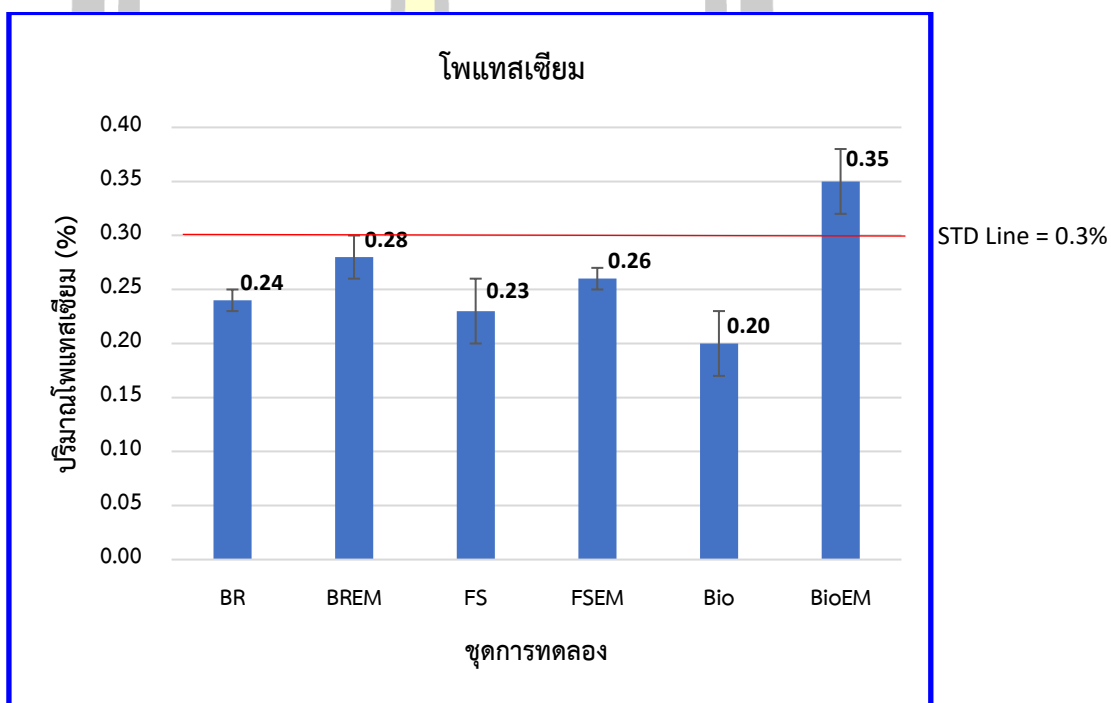


รูปที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัส (%) ในແຜນແດງ

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารสำคัญที่พืชต้องการสำหรับกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ รวมถึงการถ่ายโอนพลังงาน การสังเคราะห์ DNA และการแบ่งเซลล์ ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในແຜນແດງจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดึง H_2PO_4 และ HPO_4^{2-} ไปใช้ในการเจริญเติบโตและเก็บไว้ในเซลล์ นอกจากการตรึงไนโตรเจนแล้ว *Anabaena azollae* ยังมีบทบาทในการดูดซึมฟอสฟอรัสของແຜນແດງอีกด้วยทำให้มีความสามารถในการสะสมและละลายฟอสฟอรัสจากสิ่งแวดล้อม ทำให้ແຜນແດງสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสได้มากขึ้น ฟอสฟอรัสที่ *Anabaena azollae* ดูดซึมได้จะถูกส่งต่อไปยังແຜນແດງซึ่งมีส่วนทำให้มีการสะสมสารอาหารประเภทฟอสฟอรัส เมื่อพิจารณาถึงระดับของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเสียที่นำมาเพาะเลี้ยงແຜນແດງจะพบว่า แหล่งน้ำเสียที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเข้มข้นແຜນແດງจะมีการเก็บสะสมจนทำให้มีระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อสูงตามไปด้วย ในการทดลองของ Alalade & Lyayi (2006) แสดงปริมาณฟอสฟอรัสในແຜນແດງไว้

เท่ากับ 1.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกับปริมาณเยื่อใยอาหารจากแหล่งแดงที่ได้จากการทดลอง จากรูปที่ 43 แสดงให้เห็นว่าการสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์เนื้อเยื่อของแหล่งแดงมีความสัมพันธ์กับการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโตแต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสตั้งต้นที่มีอยู่ในแหล่งน้ำเสีย ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติมแหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรฟอ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน และแหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.4.6 ปริมาณโพแทสเซียม (K)



รูปที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียม (%) ของแหล่งแดง

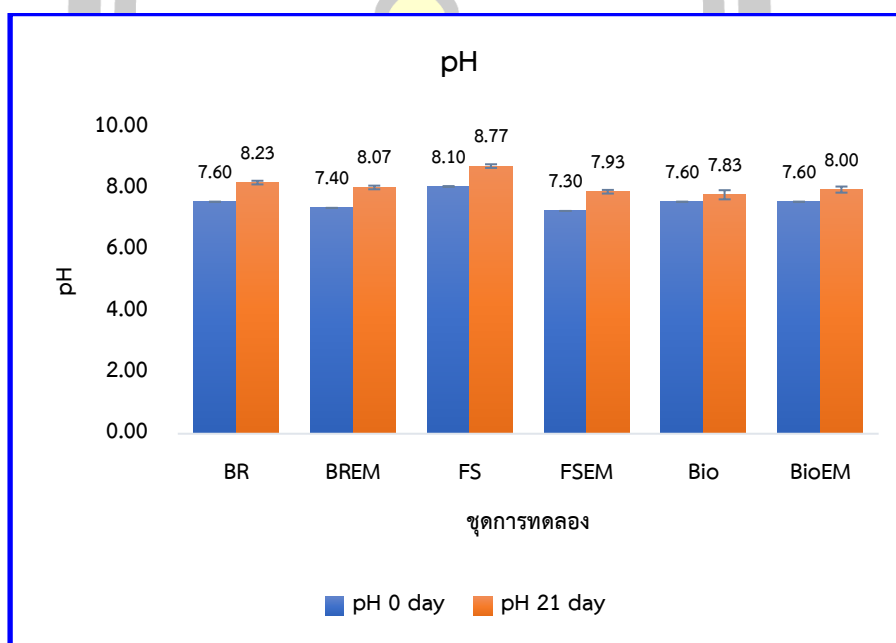
แหล่งแดงได้รับโพแทสเซียมผ่านทางโครงสร้างคล้ายรากที่เรียกว่า "ขน" หรือ "ราก" ซึ่งสัมพันธ์กับน้ำอย่างใกล้ชิด โครงสร้างพิเศษเหล่านี้ช่วยให้แหล่งแดงสามารถดูดซับโพแทสเซียมไอออน (K^+) ที่มีอยู่ในน้ำได้ การดูดซึมและการกักเก็บโพแทสเซียมของแหล่งแดงได้รับอิทธิพลจากปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำ ระดับ pH อุณหภูมิ และปริมาณของโพแทสเซียมในน้ำ แหล่งแดงมีกลไกในการขนส่งโพแทสเซียมไอออนไปยังเนื้อเยื่อ เมื่อแหล่งแดงดูดซับโพแทสเซียมจากน้ำแล้ว ก็สามารถเก็บสะสมไว้ในเซลล์และเนื้อเยื่อได้ โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในพืช รวมถึงการสังเคราะห์โปรตีน การกระตุ้นเอนไซม์ และการควบคุมระบบออสโมซิสจากรูปที่ 44 แสดงให้เห็นว่าการสะสมโพแทสเซียมในเซลล์เนื้อเยื่อของแหล่งแดงมีความสัมพันธ์กับการเติม

เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโตจะขึ้นอยู่กับปริมาณโพแทสเซียมตั้งต้นที่มีอยู่ในแหล่งน้ำเสีย ในชุดการทดลองระหว่างการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและไม่เติม แหล่งน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และแหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรฟอ-แม่พันธุ์ แหล่งน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.5 การประเมินความสามารถการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังการ

เพาะเลี้ยงเห็ด 21 วัน

4.5.1 ค่า pH

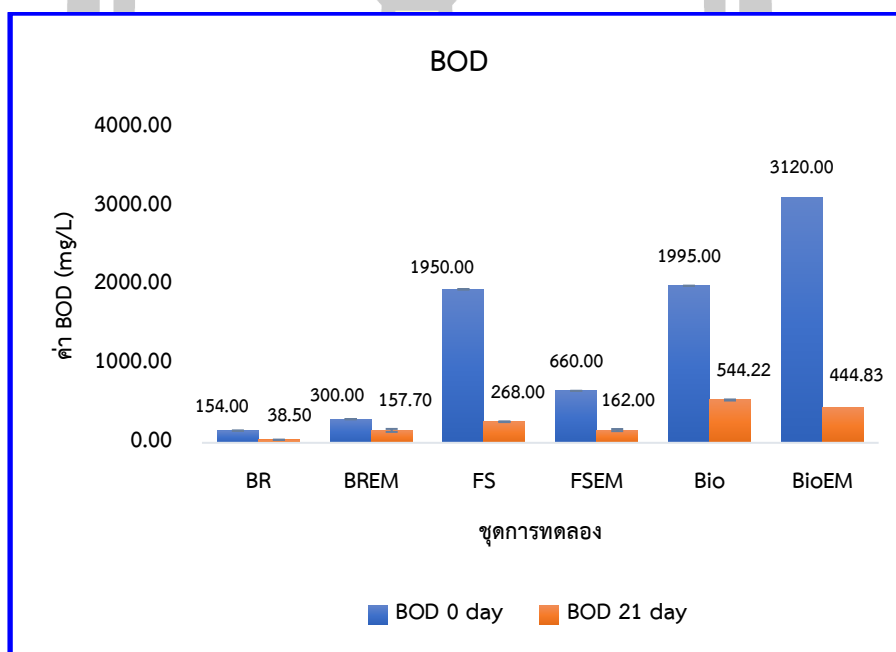


รูปที่ 45 ค่า pH ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงเห็ดทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ 0 วัน และ 21 วัน

ค่า pH เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการตรวจวัดของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยค่า pH เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของสิ่งมีชีวิตหรือจุลินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งพบว่าจะสามารถดำรงชีวิตได้ดีในสภาวะของค่า pH 6-8 หากพบต่ำกว่าหรือสูงกว่าจะทำให้สิ่งมีชีวิตหรือจุลินทรีย์ไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ ค่า pH จึงมีความสำคัญในกระบวนการบำบัดทั้งทางเคมีและทางชีวภาพ จึงมีความจำเป็นที่เราจะต้องควบคุมค่า pH ในน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง เพราะอาจจะสร้างความเสียหายให้แก่ระบบบำบัดได้อีกด้วย ค่า pH หลังทำการเลี้ยงเห็ดในน้ำเสียทั้ง 6 สภาวะ จะพบว่าเห็ดมีการดึงเอาสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโต และมีการใช้ CO_2 ในน้ำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือน้ำได้รับ CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , H^+ และ OH^- จากกระบวนการทางเคมีอื่นๆ (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531) จะส่งผลทำให้ pH มีค่าสูงขึ้น (พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก และคณะ, 2558) ซึ่งหากค่า

pH สูงจนเกินไปจะทำให้แอมโมเนียในน้ำเสียเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียที่แฉะไม่สามารถดูดซับไปใช้ประโยชน์ได้ และมีความเป็นพิษต่อพืชทำให้เนื้อเยื่อของพืชถูกทำลาย (ฐปน ชื่นบาล และคณะ, 2564) จากรูปที่ 45 เมื่อครบบระยะเวลา 21 วัน จะพบว่าน้ำเสียมีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะ อย่างไรก็ตามค่า pH สุดท้ายยังอยู่ในมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (ประเภท ข) ที่กำหนดค่า pH ไว้ที่ 5.5-9 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อครบบระยะเวลา 21 วัน พบว่า pH มีค่าสูงขึ้น มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน น้ำเสียที่เดิมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีความมีความแตกต่างทางด้านสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้เติม ยกเว้น น้ำเสียจากบ่อไร้อากาศที่ไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติ ($P > 0.05$)

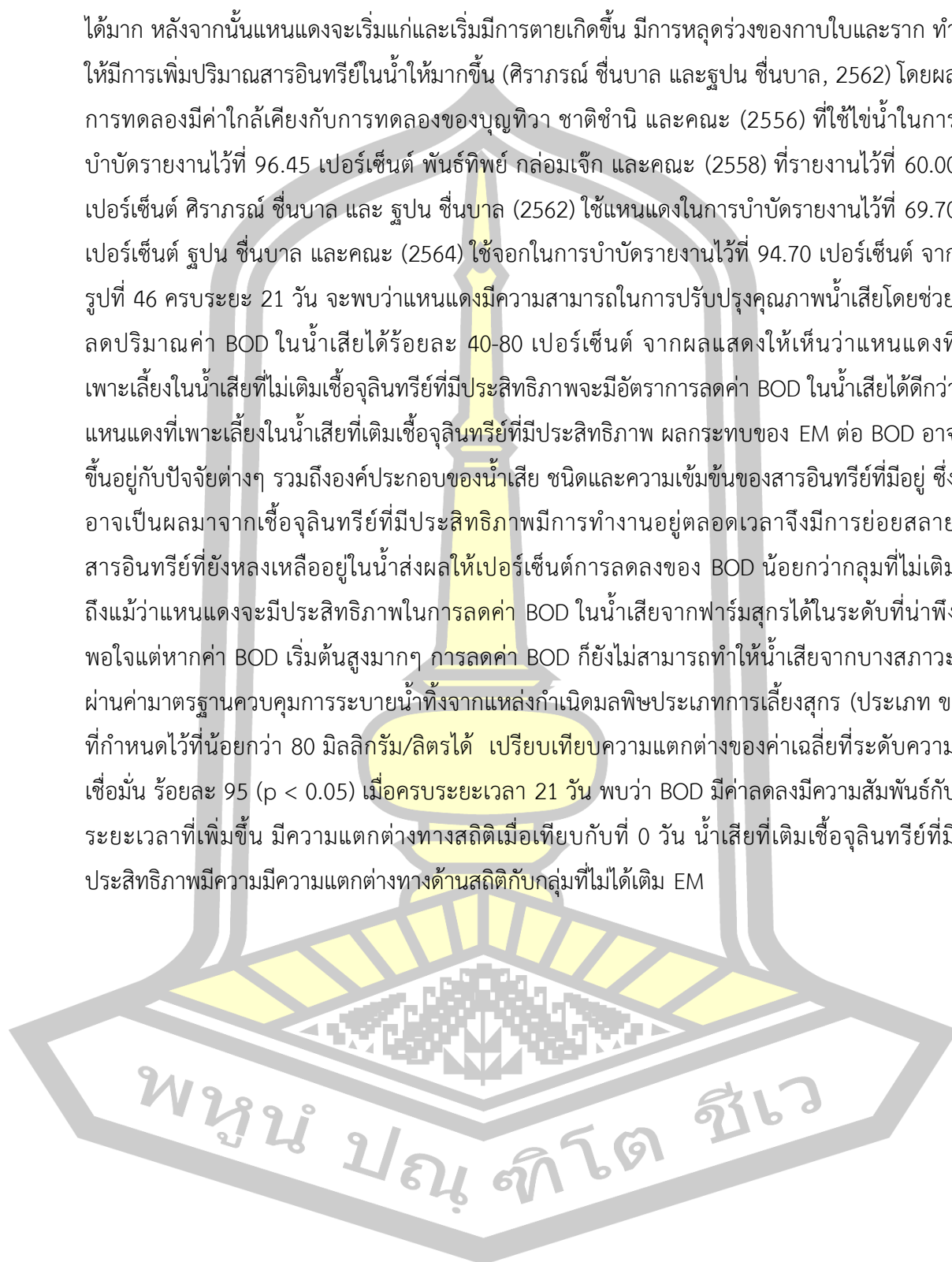
4.5.2 Biological Oxygen Demand (BOD)



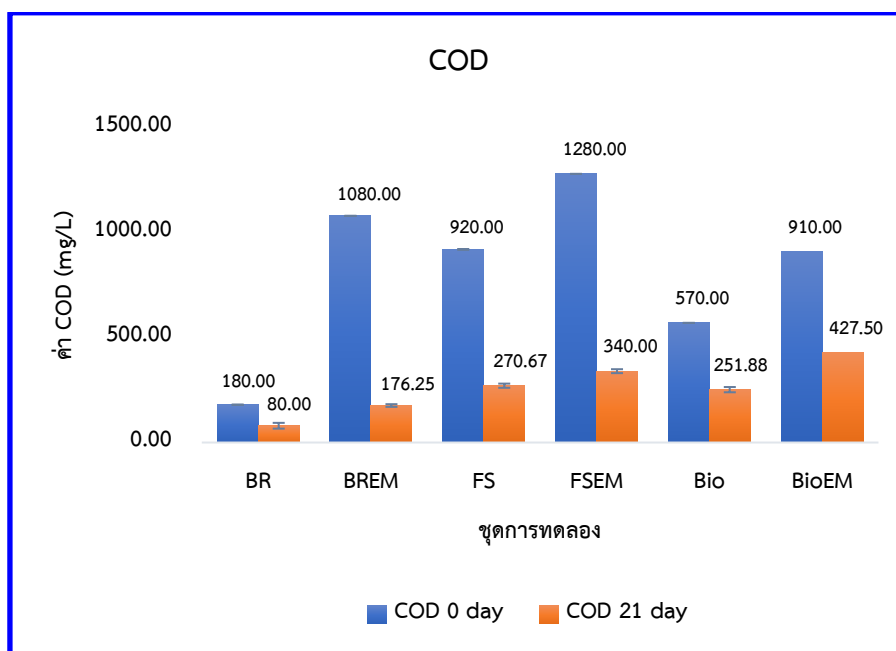
รูปที่ 46 ค่า BOD ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงແຫຼ່ງແຫຼ່ງทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ 0 วัน และ 21 วัน

ค่า BOD เป็นค่าที่บ่งบอกว่าแหล่งน้ำมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ในน้ำเสียนั้นในปริมาณมากน้อยเพียงใด เชื้อจุลินทรีย์จะต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำนั้น เพื่อใช้ในการดำรงชีพและการย่อยสลายของเสียต่างๆในน้ำนั้น ค่า BOD เป็นอีกหนึ่งค่ากำหนดพารามิเตอร์ในหลายๆค่าสำหรับใช้วัดคุณภาพน้ำดีและน้ำเสีย ค่า BOD ที่สูงยังมีผลทำให้ค่า pH ลดต่ำลงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วย การลดลงของ BOD เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นหลัก (ฐปน ชื่นบาล และคณะ, 2564) ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของແຫຼ່ງที่สูงที่สุดจะอยู่ในช่วง 7-14 วัน เนื่องจากเป็นช่วงที่ແຫຼ່ງมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด ทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้มาก เกิดการถ่ายเทออกซิเจนไปยังระบบรากได้ดีทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์

ได้มาก หลังจากนั้นแหนดงจะเริ่มแก่และเริ่มมีการตายเกิดขึ้น มีการหลุดร่วงของกาบใบและราก ทำให้มีการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำให้มากขึ้น (ศิริภรณ์ ชื่นบาล และฐปน ชื่นบาล, 2562) โดยผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของบุญทิวา ชาดิขานี และคณะ (2556) ที่ใช้ไข่น้ำในการบำบัดรายงานไว้ที่ 96.45 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก และคณะ (2558) ที่รายงานไว้ที่ 60.00 เปอร์เซ็นต์ ศิริภรณ์ ชื่นบาล และ ฐปน ชื่นบาล (2562) ใช้แหนดงในการบำบัดรายงานไว้ที่ 69.70 เปอร์เซ็นต์ ฐปน ชื่นบาล และคณะ (2564) ใช้จอกในการบำบัดรายงานไว้ที่ 94.70 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 46 ครบระยะ 21 วัน จะพบว่าแหนดงมีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียโดยช่วยลดปริมาณค่า BOD ในน้ำเสียได้ร้อยละ 40-80 เปอร์เซ็นต์ จากผลแสดงให้เห็นว่าแหนดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจะมีอัตราการลดค่า BOD ในน้ำเสียได้ดีกว่าแหนดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ผลกระทบของ EM ต่อ BOD อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ รวมถึงองค์ประกอบของน้ำเสีย ชนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีการทำงานอยู่ตลอดเวลาจึงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของ BOD น้อยกว่ากลุ่มที่ไม่เติม ถึงแม้ว่าแหนดงจะมีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ในระดับที่น่าพึงพอใจแต่หากค่า BOD เริ่มต้นสูงมากๆ การลดค่า BOD ก็ยังไม่สามารถทำให้น้ำเสียจากบางสภาวะผ่านค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (ประเภท ข) ที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 80 มิลลิกรัม/ลิตรได้ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อครบระยะเวลา 21 วัน พบว่า BOD มีค่าลดลงมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน น้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีความมีความแตกต่างทางด้านสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้เติม EM



4.5.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

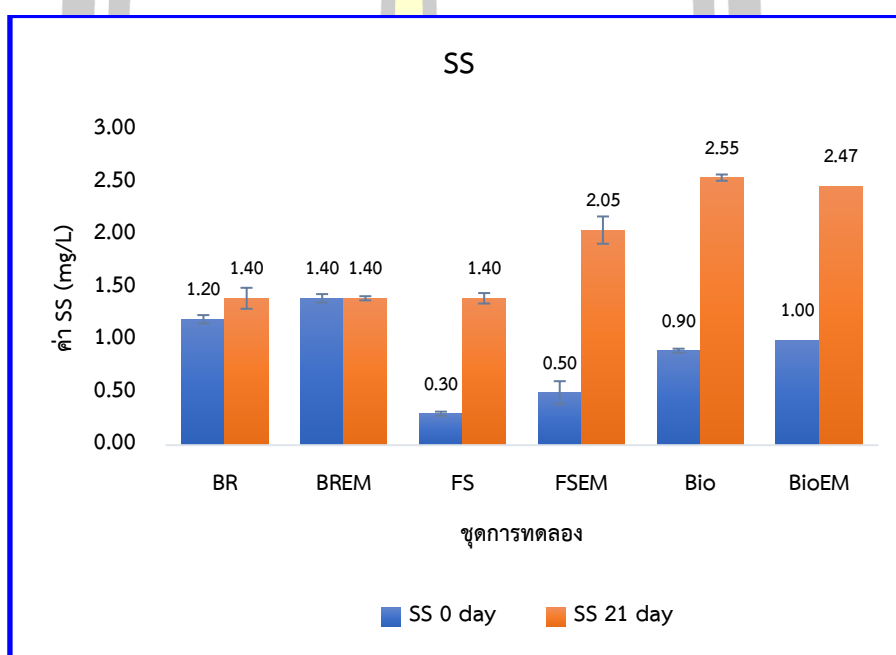


รูปที่ 47 ค่า COD ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ 0 วัน และ 21 วัน

ปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องใช้สำหรับทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ การลดลงของค่า COD จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย (พันธุ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก และคณะ, 2558) ใน EM ประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่หลากหลาย รวมทั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ จุลินทรีย์เหล่านี้มีความสามารถสร้างเอนไซม์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลาย เมื่อแพลงก์ตอนเจริญเติบโตมากขึ้นจะทำให้พื้นที่การยึดจับของเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เมื่อเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้นก็จะสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากแพลงก์ตอนมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงอาจจะส่งผลทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้น เนื่องจากการทดลองเป็นรูปแบบที่ไม่มีการเติมน้ำเข้า/ดึงน้ำออก ปริมาณน้ำเสียในระบบจะมีการระเหยเองตามธรรมชาติ ทำให้มวลสารที่อยู่ในน้ำมีความเข้มข้นมากขึ้น รวมถึงการแก่และเริ่มมีการตายของแพลงก์ตอนมีการหลุดร่วงของกาบใบและราก จะเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์สารลงในน้ำเพิ่มเติม โดยผลการทดลองจะเห็นว่าประสิทธิภาพสูงกว่าทดลองของพันธุ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก และคณะ (2558) รายงานเท่ากับ 35.4 เปอร์เซ็นต์ ศิริภรณ์ ชื่นบาล และ ฐปน ชื่นบาล (2562) ใช้แพลงก์ตอนในการบำบัดรายงานไว้ที่ 50.00 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ ฐปน ชื่นบาลและคณะ (2564) ใช้จอกในการบำบัดรายงานไว้ที่ 88.92 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 47 หลังครบระยะ 21 วันจะพบว่าแพลงก์ตอนมีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียโดยช่วยลดปริมาณค่า COD ในน้ำเสียได้ร้อยละ 50-80 จากผลแสดงให้เห็นว่าแพลงก์ตอนที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอัตราการลดค่า COD ในน้ำเสียได้ดีกว่าแพลงก์ตอนที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่ไม่ได้เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ มี

ความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณชีวมวลที่ผลิตได้ของแหนแดง จะพบว่าแหนแดงมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรบางประเภทได้สูง ประสิทธิภาพการบำบัดสามารถทำให้น้ำเสียผ่านค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (ประเภท ข) ที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 350 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อครบระยะเวลา 21 วัน พบว่า COD มีค่าลดลงมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน น้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีความมีความแตกต่างทางด้านสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้เติม

4.5.4 Settleable Solids (SS)

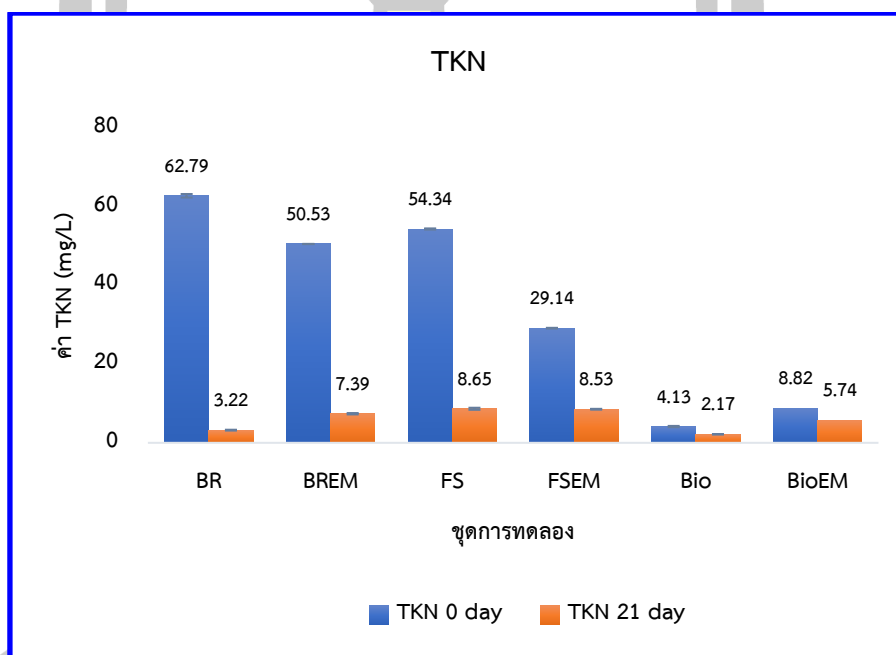


รูปที่ 48 ค่า SS ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงแหนแดงทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ 0 วัน และ 21 วัน

ค่าของแข็งแขวนลอยมักถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพ โดยการตกตะกอนหรือการกรองโดยรากของแหนแดง (ฐปน ชื่นบาล และคณะ, 2564) แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดอยู่ในช่วง 7-14 วัน ดังนั้นประสิทธิภาพของการบำบัดโดยการกรองจากรากของแหนแดงจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดอยู่ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว หลังจากนั้นแหนแดงจะเริ่มแก่และเริ่มมีการตายเกิดขึ้น เนื่องจากแหนแดงเป็นพืชลอยน้ำที่มีระบบรากแช่อยู่ในน้ำ เมื่อแก่จึงอาจมีรากแก่และกาบใบที่ขาดหลุดร่วงลงไปปะปนในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยง และมีการสูญเสียน้ำในระบบโดยการระเหยเองตามธรรมชาติจึงอาจส่งผลให้ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียสูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกันกับการทดลองของ พันธุ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก และคณะ (2558) ที่หลังการบำบัดแล้วทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยสูงขึ้น ส่วน บุญทิศา ซาดิซ่านี และคณะ (2556) ที่ใช้ไข่น้ำในการบำบัดพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดได้ 90.30 เปอร์เซ็นต์ การทดลองของ ฐปน ชื่นบาลและคณะ (2564) ใช้จอกในการบำบัดมีประสิทธิภาพ

ในการบำบัดได้ 85.64 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไข่น้ำไม่มีระบบรากแช่น้ำและจอกมีระบบรากที่แข็งแรง ไม่มีการตายของเนื้อเยื่อแล้วร่วงลงในแหล่งน้ำจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดี จากรูปที่ 48 หลังทำการเลี้ยงเห่นแดงในน้ำเสียทั้ง 6 สภาวะครบระยะเวลา 21 วัน จะพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมียค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าของแข็งแขวนลอยสุดท้ายยังอยู่ในค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (ประเภท ข) ที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อครบระยะเวลา 21 วัน พบว่า SS มีค่าสูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน น้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีความมีความแตกต่างทางด้านสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้เติม ยกเว้น น้ำเสียจากบ่อไร้อากาศที่ไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติ

4.5.5 Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)



รูปที่ 49 ค่า TKN ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงเห่นแดงทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ 0 วัน และ 21 วัน

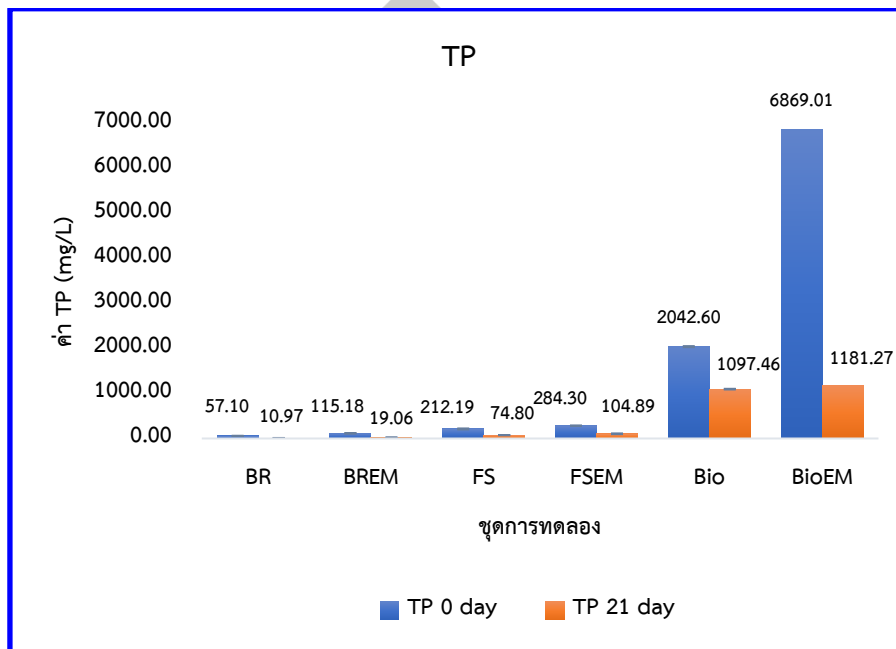
ผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN) หลังครบระยะ 21 วันจะพบว่า ปริมาณไนโตรเจนของทุกแหล่งน้ำเสียที่ใช้เพาะเลี้ยงเห่นแดงมีค่าลดลง เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการเจริญเติบโตของเห่นแดงและมีผลต่อน้ำหนักแห้งของเห่นแดง โดยปกติไนโตรเจนมีหน้าที่หลักในการสังเคราะห์แสง เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารหลายชนิดภายในเซลล์ เช่น โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานเอนไซม์ การลดลงของค่า TKN ในน้ำเสียเกิดจากการลดลงของอินทรีย์ไนโตรเจน (ON) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3N) โดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเสียจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยน ON ไปเป็น NH_3N ด้วยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) (พันธทิพย์ กลุ่มแจ็ก และคณะ,

2556) ซึ่งในโพรงใบของแห่นแดงจะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena* sp.) (ศิริภรณ์ ชื่นบาล และ ฐปน ชื่นบาล, 2558) ที่มีความสามารถในการดึง NO_3^- ในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงช่วยลดปริมาณค่าของไนโตรเจนในน้ำเสียลงได้ แต่ในทางกลับกัน เมื่อแห่นแดงแก่ก็จะมีรากแก่และกาบใบที่ขาดหลุดร่วงลงไปปะปนในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงก็จะเป็นการเติมสารอินทรีย์กลับลงไปแหล่งน้ำก็จะทำให้ค่าไนโตรเจนในน้ำเสียสูงขึ้นอีกได้ ซึ่งหากเปรียบเทียบกับผลการทดลองของบุญทิวา ชานิ และคณะ ในปี 2556 ที่ใช้ไข่น้ำในการบำบัดพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดได้เกือบ 100.00 เปอร์เซ็นต์ การทดลองของพันธ์ทิพย์ กล่อมแจ็ก และคณะ (2558) ที่ใช้แห่นแดงบำบัดพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ 51.50 เปอร์เซ็นต์ การทดลองของศิริภรณ์ ชื่นบาล และ ฐปน ชื่นบาล (2562) ใช้แห่นแดงในการบำบัดรายงานไว้ที่ 70.00-76.00 เปอร์เซ็นต์ การทดลองของ ฐปน ชื่นบาล และคณะ, 2564 ใช้จอกในการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ 77.70 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของพืชลอยน้ำจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน จากการทดลองพบว่าแห่นแดงสามารถช่วยลดค่า TKN ลงได้ตั้งแต่ 30-90 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของแห่นแดง จากรูปที่ 49 จากผลแสดงให้เห็นว่าอัตราการลดค่า TKN ในน้ำเสียของแห่นแดงไม่มีความสัมพันธ์กับเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโต และค่าดังกล่าวไม่เกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (ประเภท ข) ที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อครบระยะเวลา 21 วัน พบว่า TKN มีค่าลดลงมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน น้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีความมีความแตกต่างทางด้านสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้เติม EM

4.5.6 Total Phosphorus (TP)

การลดลงของปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะเกิดขึ้นจากการนำไปใช้ของพืชและเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ ฟอสฟอรัสมีบทบาทต่อกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก และการตกตะกอนของฟอสเฟตร่วมกับธาตุอื่นๆ (พันธ์ทิพย์ กล่อมแจ็ก และคณะ, 2556) นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยให้ค่ากรด-เบส ในน้ำเสียให้ค่อนข้างคงที่ ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแห่นแดง โดยปกติฟอสฟอรัสจะละลายอยู่ในน้ำในปริมาณที่ต่ำมาก เพราะฉะนั้นหากเราใช้แหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสละลายอยู่มากกว่า 120 ppm จะส่งผลให้แห่นแดงเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น ระดับของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเสียจะมีผลมาจากออกซิเจนในน้ำร่วมด้วย หากน้ำเสียมีปริมาณออกซิเจนสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสตกตะกอนแต่หากน้ำเสียมีปริมาณออกซิเจนต่ำจะทำให้ฟอสฟอรัสละลายตัวในน้ำได้มากขึ้นก็จะทำให้ค่าฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำสูงขึ้น จากปฏิกิริยาเชิง

ตกตะกอนนี้จึงอาจไม่สามารถลดปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้อย่างถาวร เพราะมี ปัจจัยแวดล้อมหลายอย่างร่วมด้วย



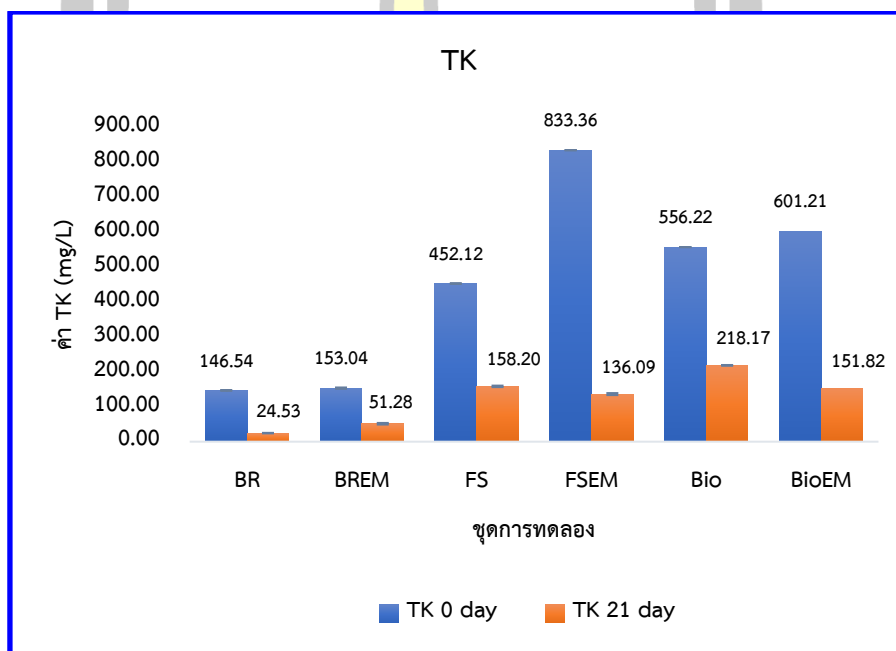
รูปที่ 50 ค่า TP ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงแหนแดงทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ 0 วัน และ 21 วัน

จากการเปรียบเทียบกับค่าการทดลองของพันธุ์พืช กล่อมเจ็ก และคณะ (2558) ใช้แหนแดงในการบำบัดที่พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ 52.00 เปอร์เซ็นต์ การทดลองของศิริภรณ์ ชื่นบาล และ ฐปน ชื่นบาล (2562) ใช้แหนแดงในการบำบัดรายงานไว้ที่ 65.00-74.80 เปอร์เซ็นต์จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสของพืชลอยน้ำจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน จากการทดลองหลังครบระยะ 21 วันจะพบว่าแหนแดงมีความสามารถในการดึง PO_4^{3-} ในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโตโดยช่วยลดปริมาณค่าฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้ตั้งแต่ 40-80 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 50 จากผลแสดงให้เห็นว่าอัตราการลดค่าฟอสฟอรัสในน้ำเสียของแหนแดงมีความสัมพันธ์กับเดิมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ และค่าฟอสฟอรัสหลัง 21 วันไม่ผ่านค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (ประเภท ข) ที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อครบระยะเวลา 21 วัน พบว่า TP มีค่าลดลงมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน น้ำเสียที่เดิมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีความมีความแตกต่างทางด้านสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้เดิม

4.5.7 Total Potassium (TK)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักในที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีส่วนสำคัญสำหรับกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์พืช ช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาลและแบ่งการเคลื่อนย้ายแบ่งและ

น้ำตาลจากใบไปยังผล กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ เพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์และไนโตรเจนที่ใช้ในกระบวนการสร้างโปรตีน เป็นโครงสร้างของเอนไซม์ ทำให้พืชแข็งแรงสามารถต้านทานโรคและแมลงบางชนิดได้ โพแทสเซียมที่พืชนำเอาไปใช้จะอยู่ในอนุมูลบวก หรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกเป็นอนุมูลบวก (K^+) พืชก็ไม่สามารถดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การกระบวนการหายใจ การเปิดปิดปากใบ จากการทดลองหลังครบระยะ 21 วันจะพบว่าแทนแดงมีความสามารถในการดึง K^+ ในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโตโดยช่วยลดปริมาณค่าของโพแทสเซียมในน้ำเสียได้ตั้งแต่ 60-80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 51 ค่า TK ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงแทนแดงทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ 0 วัน และ 21 วัน ดังแสดงในจากรูปที่ 51 จากผลแสดงให้เห็นว่าอัตราการลดค่าโพแทสเซียมในน้ำเสียของแทนแดงมีความสัมพันธ์กับเดิมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อครบระยะเวลา 21 วันพบว่า TK มีค่าลดลงมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน น้ำเสียที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีความแตกต่างทางด้านสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้เติม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ความสามารถและอัตราการการเจริญเติบโตของแหนแดง (*Azolla microphylla*)

การศึกษาการเพาะเลี้ยงแหนแดงคุณภาพสูง (*Azolla microphylla*) จากการใช้ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยการใช้ น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นแล้ว 3 ประเภท คือ น้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรฟ่อ-แม่พันธุ์ น้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุน น้ำเสียจากบ่อไร้อากาศจากฟาร์มสุกรขุน เพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) พบว่าแหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ไม่เติม และมีอัตราการเจริญเติบโตได้นานกว่าในน้ำเสียที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) โดยพบว่า น้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรฟ่อ-แม่พันธุ์ที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจะให้อัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด

5.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของแหนแดง (*Azolla microphylla*)

คุณค่าทางโภชนาการของแหนแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่ามีผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน ไขมัน เยื่อใยอาหาร แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียมและฟอสฟอรัส อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่มีคุณค่าในการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรอื่นๆ ต่อไปในอนาคตได้

5.1.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของแหนแดง (*Azolla microphylla*)

ประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของแหนแดงพบว่าแหนแดงมีความสามารถในการช่วยลดค่าทางคุณภาพของน้ำเสียได้ในระดับที่สูง แหนแดงมีความสามารถลดค่า BOD ได้ตั้งแต่ร้อยละ 40-80 ลด COD ได้ตั้งแต่ร้อยละ 50-80 ลดค่า TKN ได้ตั้งแต่ร้อยละ 30-90 เปอร์เซ็นต์ ลดค่า TP ได้ตั้งแต่ร้อยละ 40-80 ลดค่า TK ได้ตั้งแต่ร้อยละ 60-80 การลดของค่า BOD COD และ TKN มีความสัมพันธ์กับเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและอัตราการเจริญเติบโต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อการผลิตแหนแดง

แหนแดงมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองแบบบ่อปรับเสถียรจากฟาร์มสุกรขุนและฟาร์มสุกรฟ่อ-แม่พันธุ์ การเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียทำให้แหนแดงสามารถนำไปใช้ใน

การเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น แหนแดงมีความสามารถในการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการสะสมธาตุอาหารที่ดีที่สุดในช่วงระยะเวลา 7-14 วัน จึงแนะนำให้ทำการเก็บเกี่ยวชีวมวลของแหนแดงในช่วงนี้

5.2.2 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเพื่อบำบัดน้ำเสีย

แหนแดงมีความสามารถในการบำบัดมลสารในรูป BOD COD SS TKN TP และ TK โดยแหนแดงจะนำเอาธาตุอาหารในน้ำเสียมาใช้ในการเจริญเติบโตแต่ประสิทธิภาพในการสะสมธาตุอาหารที่ดีที่สุดของแหนแดงจะอยู่ในช่วงระยะเวลา 7 วัน ซึ่งอาจจะต้องออกแบบรูปแบบการบำบัดเพิ่มเติม เช่น มีระบบการเติม/ดึงออกของแหนแดงทุก 7 วัน การเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวเพื่อให้แหนแดงเจริญได้พื้นที่มากขึ้น หรืออาจจะใช้ระบบน้ำวนเพื่อมีการหมุนเวียนของน้ำเสียในระบบ

5.2.3 การใช้แหนแดงเป็นอาหารสัตว์

ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรไทยยังคงประสบปัญหาด้านราคาวัตถุดิบอาหารที่มีราคาสูง ส่งผลกระทบต่อเกษตรกร การส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกพืชอาหารสัตว์ อาทิ แหนแดง เพื่อเป็นพืชทางเลือกให้กับเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิต แหนแดงเป็นพืชที่ใช้เวลาปลูกระยะสั้นเติบโตเร็ว 15-30 วัน สามารถขายได้ เป็นที่ต้องการของตลาด โปรตีนสูง และมีไนโตรเจนสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ มีวิตามิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง แมกนีเซียม เบต้าแคโรทีนและกรดอะมิโน ในระดับที่สูง ในขณะที่ปุ๋ยพืชสดตระกูลถั่วมีธาตุอาหารไนโตรเจน ประมาณ 2.5-3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ราคาอาหารสัตว์ท้องตลาด ราคา 12 บาท/กิโลกรัม แต่หากเป็นอาหารที่ผสมเองราคา 4 บาท/กิโลกรัม เป็นการลดต้นทุนการผลิตให้กับเกษตรกร

5.2.3.1 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเป็นอาหารสัตว์ปีก

แหนแดงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารที่ต้นทุนต่ำ และมีคุณค่าทางอาหารสูงพอสำหรับไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-21 วันได้โดยใช้แหนแดงแห้งเป็นวัตถุดิบได้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ (กุลยาภัสร์ และคณะ, 2555) ในไก่ไข่จะส่งผลให้ไข่มีเปลือกหนาแข็ง เนื้อไขจะนุ่มเด่น ระหว่างไข่ขาวจะเกาะจับตัวกับไข่แดงจนเห็นได้ชัด กลิ่นไม่คาว เพราะในแหนแดงมี แร่ธาตุ แคลเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส สะสมอยู่

5.2.3.2 การใช้ประโยชน์ของแหนแดงเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

โดยทั่วไปแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่กินหญ้าเป็นหลักจึงได้รับปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างต่ำจึงมีการนำแหนแดงซึ่งมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าเข้ามาทดแทนหญ้าให้สัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยสามารถใช้แหนแดงเป็นอาหารเสริมโปรตีนได้ถึง 60-75 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องให้ร่วมกับหญ้าแห้งไม่ให้ระบบการย่อยอาหารของสัตว์เสียหาย

5.2.3.3 การใช้ประโยชน์ของແໜແດງเป็นอาหารสุกร

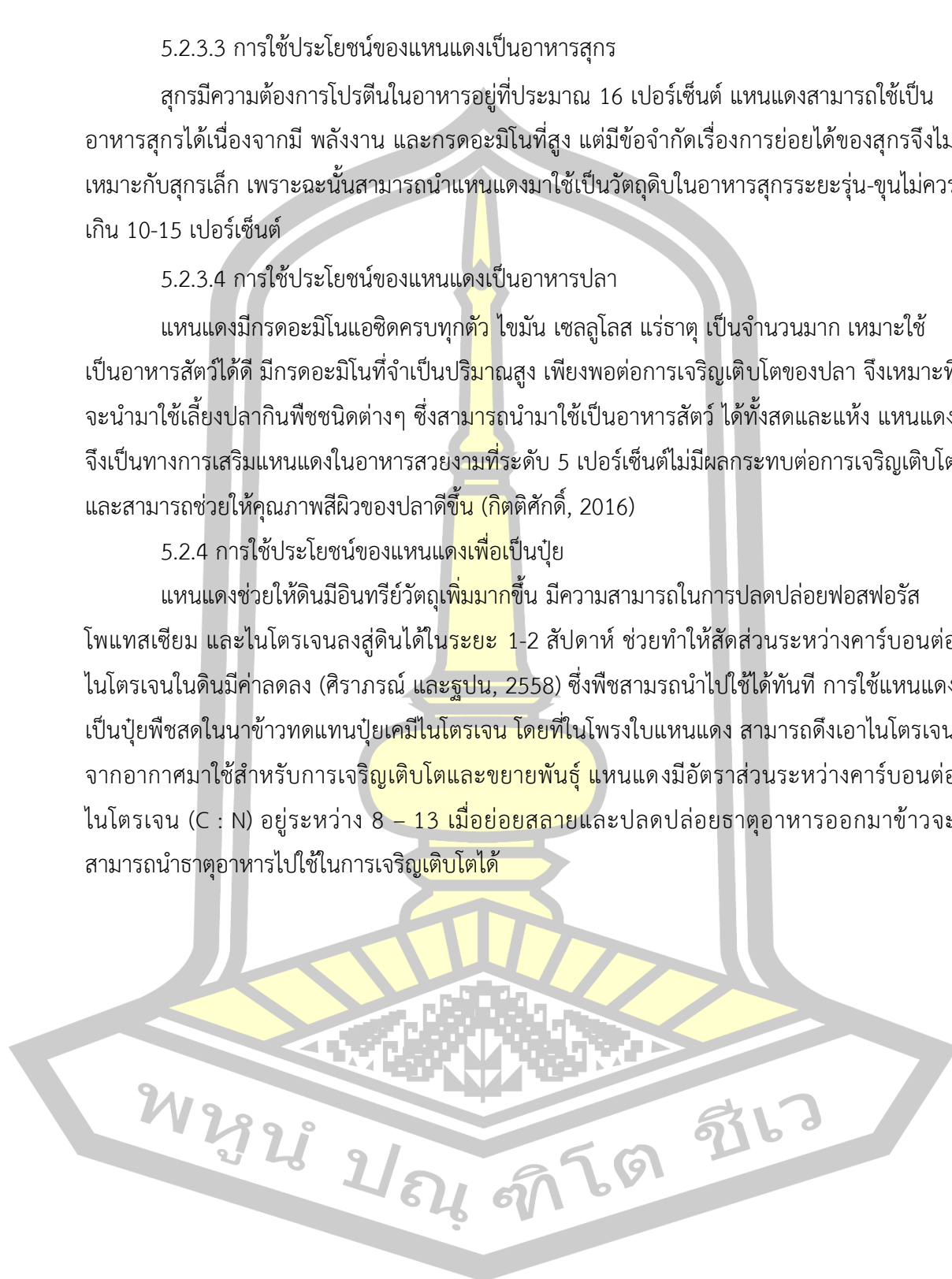
สุกรมีความต้องการโปรตีนในอาหารอยู่ที่ประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ แห้ແໜແດງสามารถใช้เป็นอาหารสุกรได้เนื่องจากมี พลังงาน และกรดอะมิโนที่สูง แต่มีข้อจำกัดเรื่องการย่อยได้ของสุกรจึงไม่เหมาะสมกับสุกรเล็ก เพราะฉะนั้นสามารถนำແໜແດງมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุนไม่ควรเกิน 10-15 เปอร์เซ็นต์

5.2.3.4 การใช้ประโยชน์ของແໜແດງเป็นอาหารปลา

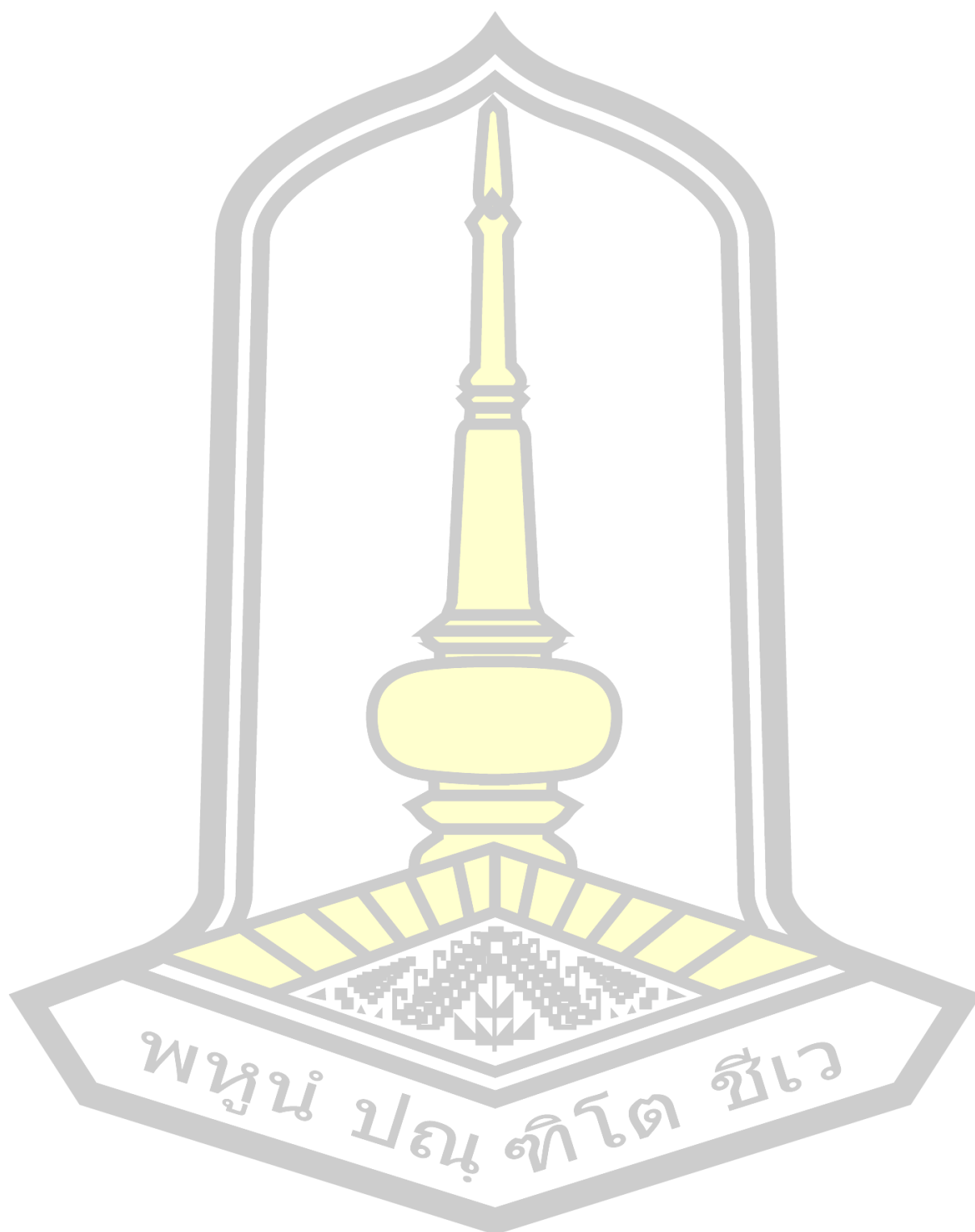
ແໜແດງมีกรดอะมิโนแอสิดครบทุกตัว ไซมัน เซลลูโลส แร่ธาตุ เป็นจำนวนมาก เหมาะใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี มีกรดอะมิโนที่จำเป็นปริมาณสูง เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของปลา จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เลี้ยงปลากินพืชชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ได้ทั้งสดและแห้ง แห้ແໜແດງจึงเป็นทางเลือกเสริมແໜແດງในอาหารสวายงามที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ไม่มีผลกระทบต่อผลการเจริญเติบโต และสามารถช่วยให้คุณภาพสีผิวของปลาดีขึ้น (กิตติศักดิ์, 2016)

5.2.4 การใช้ประโยชน์ของແໜແດງเพื่อเป็นปุ๋ย

ແໜແດງช่วยให้ดินมีอินทรีย์วัตถุเพิ่มมากขึ้น มีความสามารถในการปลดปล่อยฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และไนโตรเจนลงสู่ดินได้ในระยะ 1-2 สัปดาห์ ช่วยทำให้สัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินมีค่าลดลง (ศิริภรณ์ และฐปน, 2558) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที การใช้ແໜແດງเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวทดแทนปุ๋ยเคมีไนโตรเจน โดยที่ในโพรงใบແໜແດງ สามารถดึงเอาไนโตรเจนจากอากาศมาใช้สำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ แห้ແໜແດງมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N) อยู่ระหว่าง 8 – 13 เมื่อย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาข้าวจะสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้



บรรณานุกรม



- กมลวรรณ ศรีปลั่ง, สุรางค์รัตน์ พันแสง, และพวงผกา แก้วกรม. (2554). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญแทนแดงในท้องถิ่นและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. เพชรบูรณ์: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. (2558). โครงการศึกษาการเพิ่มมูลค่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร ตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ พลังงานกระทรวงพลังงาน.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. (2563). คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร. กรุงเทพฯ : สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 42 หน้า.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. (2563). คู่มือแนวทางการจัดการกลิ่นจากฟาร์มสุกร (No. 182209).
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. (2564). มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร. กรุงเทพฯ : กองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 76 หน้า.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรมวิชาการเกษตร. (2563). เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชในเขตภาคกลางและภาคตะวันออก 2563
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรมปศุสัตว์. (2547). ข้อมูลจำนวนเกษตรกรและปศุสัตว์ในประเทศไทยประจำปี 2547 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://ict.dld.go.th/th2/index.php/th/>
- กาญจนา บันสิทธิ์. 2553. คู่มือปฏิบัติการตรวจคุณภาพอาหารสัตว์. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปรับปรุงครั้งที่2 (พ.ศ.2548). 76 หน้า.
- กาญจนา บันสิทธิ์ วิชาญ แก้วเลื่อน และวีรพงษ์ บัวเขียว. 2545. “วัตถุดิบ”. Animal Feed and Nutrition. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [Online] <http://www.agri.ubu.ac.th/home/kanjana/feedhp/feed/feed3.htm>.
- กษมา ชารีโคตร (2559). หลักการวิเคราะห์อาหาร Food Analysis, เอกสารประกอบการสอน วิชา หลักการวิเคราะห์อาหาร (FT03302), คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
- กิตติศักดิ์ ผุยชา (2559). ผลของการเสริมแทนแดง (*Azolla pinnata* R. Br.) ในอาหารต่อคุณภาพสีผิวของปลาทอง. RAJABHAT AGRIC. 15 (2): น. 9-16
- กุลยาภัทร์ วุฒิจาริ, อัจฉรา พวงน้ำอ่าง, เทวินทร์ ทองมูล และวันดี ทาตระกุล. (2555) การใช้ประโยชน์จากแทนแดงอบแห้งในอาหารไก่เนื้อ. การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวรครั้งที่ 10 วันที่ 24 ก.ค.ที่ห้องประชุมคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จ.พิษณุโลก

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2559). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม.

ราชกิจจานุเบกษา 6 มิถุนายน 2559 เล่ม 133 ตอนพิเศษ 129 ง ; หน้า 17.

ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. (2531). ชลธิวิทยา. กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 76-103.

ประยูร สวัสดิ์ และ บรรหาร แดงฉ่ำ. (2545). แหนแดง ชีววิทยาและการใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กองปฐพีวิทยา กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน

พันธ์ทิพย์ กล่อมแจ็ก, วิภา หอมหวาน, ดำรงค์ศักดิ์ สุวรรณศรี, และ นุชนันท์ พลฤทธิ์. (2558). การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยแหนแดง (*Azolla microphylla*) ในระบบบำบัดน้ำเสียพีชลอยน้ำ. *KKU Science Journal*, 43(4), 698-714.

เพ็ญจา จิตจำรูญโชคไชย, ศรีศักดิ์ สีหะเนิน, และ นิรุทร์ เจริญโมรา (2540). การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหารโดยใช้แหนแดง (*Azolla microphylla*). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาณุมาศ ถือธรรม, เกศศิริรินทร์ แสงมณี, และอิสระ ตั้งสุวรรณ. (2563). ผลของวัสดุเพาะกล้าจากแหนแดงและถ่านชีวภาพต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเปราะ. *วารสารเกษตรนเรศวร*, 17(1), 20-27.

ภาชิตา พุ่มศิริ, ศิริรัตน์ แจ้งกรณ์, กานดา ปุ่มสิน, ฉันทนา เคนศรี, และ พันธุ์ทิวา กระจ่าย. (2563). “แหนแดง”....แหล่งไนโตรเจนในแปลงผัก. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 4).

ภาชิตา พุ่มศิริ. (2563). การศึกษาการใช้แหนแดงร่วมกับปุ๋ยชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าและผักกาดเขียวกวาดต้ง : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.

มนตรี ปานตู, และ คณะ. (2559). การใช้แหนแดง (*Azolla microphylla*) ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน. *Thai Agricultural Research Journal*, 34(3), 286-298.

เยาวมาลย์ คำเจริญ. (2522). คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 163 หน้า

วรารณ ฤทัย. (2551). การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช: phytoremediation. *วารสารวิชาการราชภัฏตะวันตก*. 3(1): 134-145

วรัญญิตา วิวรรณมงคล, จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์, สุกัญญา จิตตพรพงษ์, และ อุทัย คันทิ. (2558).

ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศและใช้อากาศ. *ว.วิทย.เกษตร*, 46(1) 41-50 (2558)

- ศิริภรณ์ ชื่นบาน, วิภาพร จารุชนกุล, ฐปน ชื่นบาน, และ ปานวาด ศิลปวัฒนา. (2560). การศึกษา
การเจริญและการสลายตัวของแห่นแดง. รายงานการประชุมวิชาการ ประจำปี 2560 7-8
ธันวาคม 2560 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, และ ประไพพร ทองระอา. (2553). ศึกษาการสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุ
ไนโตรเจนของแห่นแดงในดินสภาพต่างๆ. ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2553 เล่ม
ที่ 1 กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, ประไพพร ทองระอา, กานดา ฉัตรไชยศิริ, และ ภาสกร ศารทูลทัต. (2561).
ผลของแห่นแดงต่อการเจริญเติบโตของกวางตุ้ง. ใน: The 17th National Horticultural
Congress 2018, หน้า 332-337.
- สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563). วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 24 – 2563.
ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2563
- สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. การบำบัดสารมลพิษโดยใช้
เทคโนโลยี PHYTOREMEDIATION. Modern Manufacturing. ปีที่ 8, ฉบับที่ 93,
(พฤศจิกายน) 2553, หน้า 74.
- สุกัญญา จตุพรพงษ์. (2538). เทคนิควิธีการวิเคราะห์โภชนะในอาหารสัตว์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรม
การเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, นครปฐม. 42 หน้า
- สุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์. (2549). แพลงก์ตอนวิทยา. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยี
การเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 490 น.
- สำนักงานบริการเทคโนโลยีสารสนเทศและสิ่งแวดล้อม คณะสารสนเทศศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล,
(2561). รายงานการประชุมนำเสนอผลการศึกษาวิจัยโครงการศึกษารูปแบบการจัดการเหตุ
รำคาญจากการประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพประเภทการเลี้ยงสุกร ครั้งที่
1/2561 วันจันทร์ที่ 20 สิงหาคม 2561 ณ ห้องประชุม 1 ซิต ซียวงศ์อาคาร 5 ชั้น 5
สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข
- สำนักงานบริการเทคโนโลยีสารสนเทศและสิ่งแวดล้อม คณะสารสนเทศศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล,
2561 เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2565
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ และกรมปศุสัตว์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
(2565). การฝึกอบรมหลักสูตร “มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี
สำหรับฟาร์มสุกร (มกษ. 6403-2565 ในรูปแบบการบรรยายออนไลน์ ระหว่างวันที่ 28-29
มิถุนายน 2565
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษ ภาคที่ 16, (2564) รายงานผลการดำเนินงาน สำนักงาน
สิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษ 16 ปี 2564. อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

อัจฉราพร ข้าโสภา. (2553). เทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ (Bioremediation Technology).

สืบค้น ตุลาคม 01, 2565, จาก <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/a10.shtml>

อำนวยโชติ ญาณวงษ์. (2534). การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ประมง: Fishery product analysis.

ภาควิชาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 210 หน้า.

LAB.TODAY ปีที่ 1, ฉบับ 5 (กรกฎาคม-สิงหาคม 2545), หน้า 65-68 ISSN1513-944

Antunes, A. P. M., Watkins, G. M., & Duncan, J. R. (2001). Batch studies on the removal of gold (III) from aqueous solution by *Azolla filiculoides*. *Biotechnology letters*, 23, 249-251.

Antunes, F., Cadenas, E., & BRUNK, U. T. (2001). Apoptosis induced by exposure to a low steady-state concentration of H₂O₂ is a consequence of lysosomal rupture. *Biochemical Journal*, 356(2), 549-555.

Arora, A., & Saxena, S. (2005). Cultivation of *Azolla microphylla* biomass on secondary-treated Delhi municipal effluents. *Biomass and Bioenergy*, 29(1), 60-64.

Arora, A., Saxena, S., & Sharma, D. K. (2006). Tolerance and phytoaccumulation of chromium by three *Azolla* species. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22, 97-100.

Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. vol.1, 15th ed., 684 pp.

Barcelona, J. F., Nickrent, D. L., LaFrankie, J. V., Callado, J. R. C., & Pelser, P. B. (2013). Co's Digital Flora of the Philippines: plant identification and conservation through cybertaxonomy. *Philippine Journal of Science*, 142, 57-67.

Basak, B., Pramanik, M. A. H., Rahman, M. S., Tarafdar, S. U., & Roy, B. C. (2002). *Azolla* (*Azolla pinnata*) as a feed ingredient in broiler ration. *Int. J. Poult. Sci*, 1(1), 29-34.

Bocchi, S., & Malgioglio, A. (2010). *Azolla-Anabaena* as a biofertilizer for rice paddy fields in the Po Valley, a temperate rice area in Northern Italy. *International Journal of Agronomy*, 2010.

Brinkhuis, H., & Bijl, P. (2014). Fern of the future? *GeoQ*, 10, 5-6.

- Chatterjee, A., Sharma, P., Ghosh, M. K., Mandal, M., & Roy, P. K. (2013). Utilization of *Azolla microphylla* as feed supplement for crossbred cattle. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(3), 207-214.
- Cheng, W., Sakai, H., Matsushima, M., Yagi, K., & Hasegawa, T. (2010). Response of the floating aquatic fern *Azolla filiculoides* to elevated CO₂, temperature, and phosphorus levels. *Hydrobiologia*, 656, 5-14.
- Cissé, M., & Vlek, P. L. (2003). Influence of urea on biological N² fixation and N transfer from *Azolla* intercropped with rice. *Plant and soil*, 250, 105-112.
- Dawson, J. J., & Smith, P. (2007). Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. *Science of the total environment*, 382(2-3), 165-190.
- de Macale, M. A. R., & Vlek, P. L. (2004). The role of *Azolla* cover in improving the nitrogen use efficiency of lowland rice. *Plant and soil*, 263(1), 311-321.
- Deshmukh, A. A., Bandela, N. N., Chavan, J. R., & Nalawade, P. M. (2013). Studies on potential use of water hyacinth, *Pistia* and *Azolla* for municipal waste water treatment. *Environment*, 3(11), 226-228.
- de Vries, S., & de Vries, J. (2018). *Azolla*: A model system for symbiotic nitrogen fixation and evolutionary developmental biology. *Current advances in fern research*, 21-46.
- DiTomaso, J. M., Kyser, G. B., Oneto, S. R., Wilson, R. G., Orloff, S. B., Anderson, L. W., ... & Mann, J. J. (2013). Weed control in natural areas in the western United States. Weed Research and Information Center, University of California, 544.
- Elmachli, S., Chefetz, B., Tel-Or, E., Vidal, L., Canals, A., & Gedanken, A. (2011). Removal of silver and lead ions from water wastes using *Azolla filiculoides*, an aquatic plant, which adsorbs and reduces the ions into the corresponding metallic nanoparticles under microwave radiation in 5 min. *Water, Air, & Soil Pollution*, 218, 365-370.
- Evrard, C., & Van Hove, C. (2004). Taxonomy of the American *Azolla* species (*Azollaceae*): a critical review. *Systematics and geography of plants*, 301-318.
- FAO. (2009). Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture – A review. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.fao.org/3/a-i1141e.pdf> [5 เมษายน 2563]

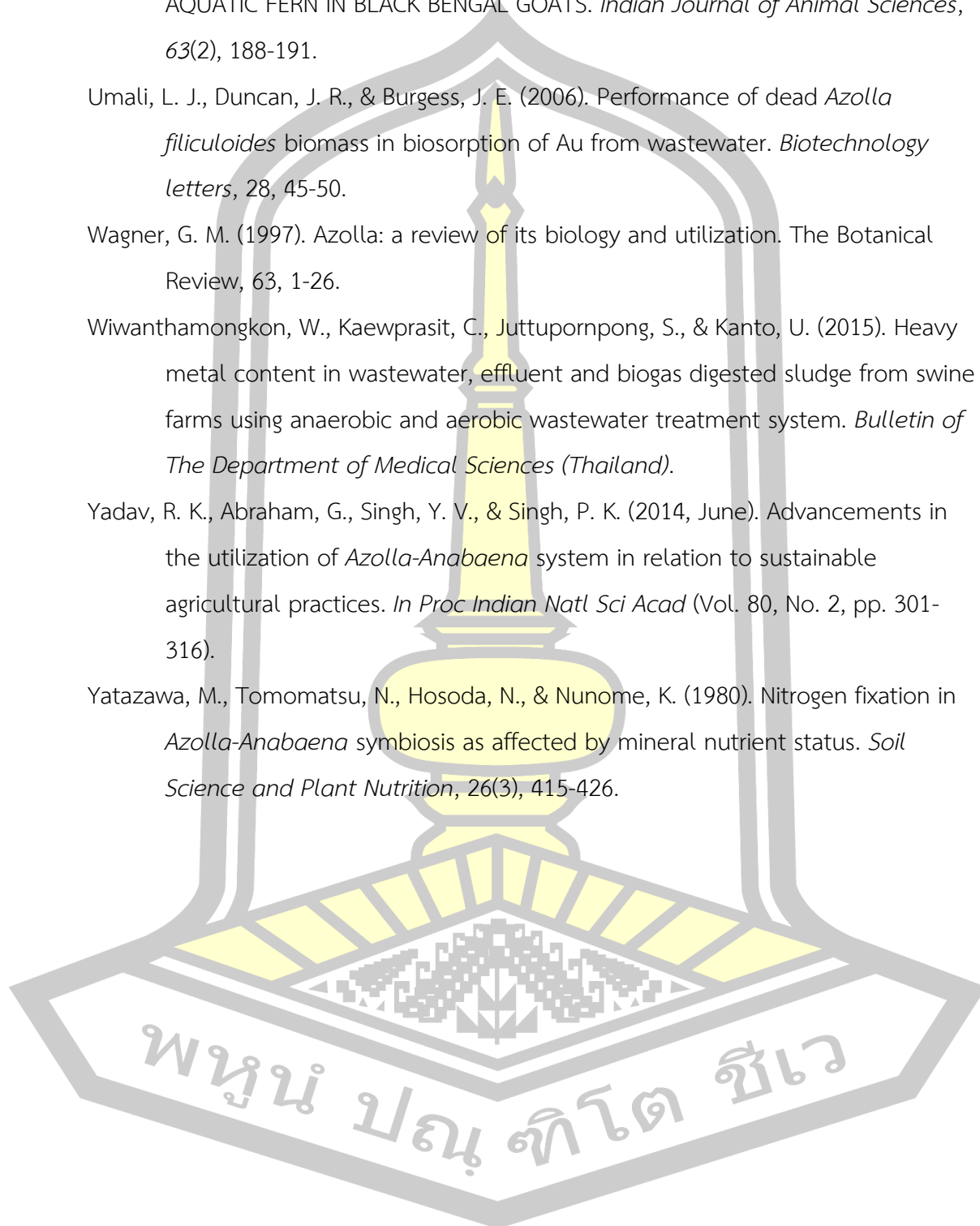
- Golzary, A., Tavakoli, O., Rezaei, Y., & Karbassi, A. (2018). Wastewater treatment by *Azolla Filiculoides*: A study on color, odor, COD, nitrate, and phosphate removal. *Pollution*, 4(1), 69-76.
- Gregory M. Wagner (1997). *Azolla: A Review of Its Biology and Utilization*. The Botanical Review 63(l): 1-26
- Hasan, M. R., & Rina, C. (2009). Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: a review (No. 531). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. (2001). *Climate chage 2001*.
- Ismail, B. S., Siew, T. C. & Mushrifah, I. (1995). Effect of molinate and carbofthiran on nitrogen fixation by *Azolla Pinnata*. *Microbes.*, 62: 127-134.
- Janzen, H. H. (2004). Carbon cycling in earth systems—a soil science perspective. *Agriculture, ecosystems & environment*, 104(3), 399-417.
- Jeyapandiyan, N., & Lakshmanan, A. (2014). Influence of *Azolla* and blue green algae in residual nitrogen and uptake in different rice cultivation systems. *Trends in Biosci*, 7, 1504-1506.
- Jumadi, O., Hiola, S. F., Hala, Y., Norton, J., & Inubushi, K. (2014). Influence of *Azolla* (*Azolla microphylla* Kaulf.) compost on biogenic gas production, inorganic nitrogen and growth of upland kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in a silt loam soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(5), 722-730.
- Kaewsuralikhit, S., Namwong, P., Thongra-ar, P., Thaweenut, N., & Chatchaisiri, K. (2020a). Mineralization and chemical properties changes in soil amended with *Azolla*. *Thai Agricultural Research Journal*. 38(2), 139-149.
- Kannaiyan, S., & Kumar, K. (2005). Biological fertilizers for sustainable rice production. *Handbook of microbial biofertilizers*, 89-115.
- Khatun, A., Ali, M., & Dingle, J. (1999). Comparison of the nutritive value for laying hens of diets containing *azolla* (*Azolla pinnata*) based on formulation using digestible protein and digestible amino acid versus total protein and total amino acid. *Animal Feed Science and Technology*, 81(1-2), 43-56.

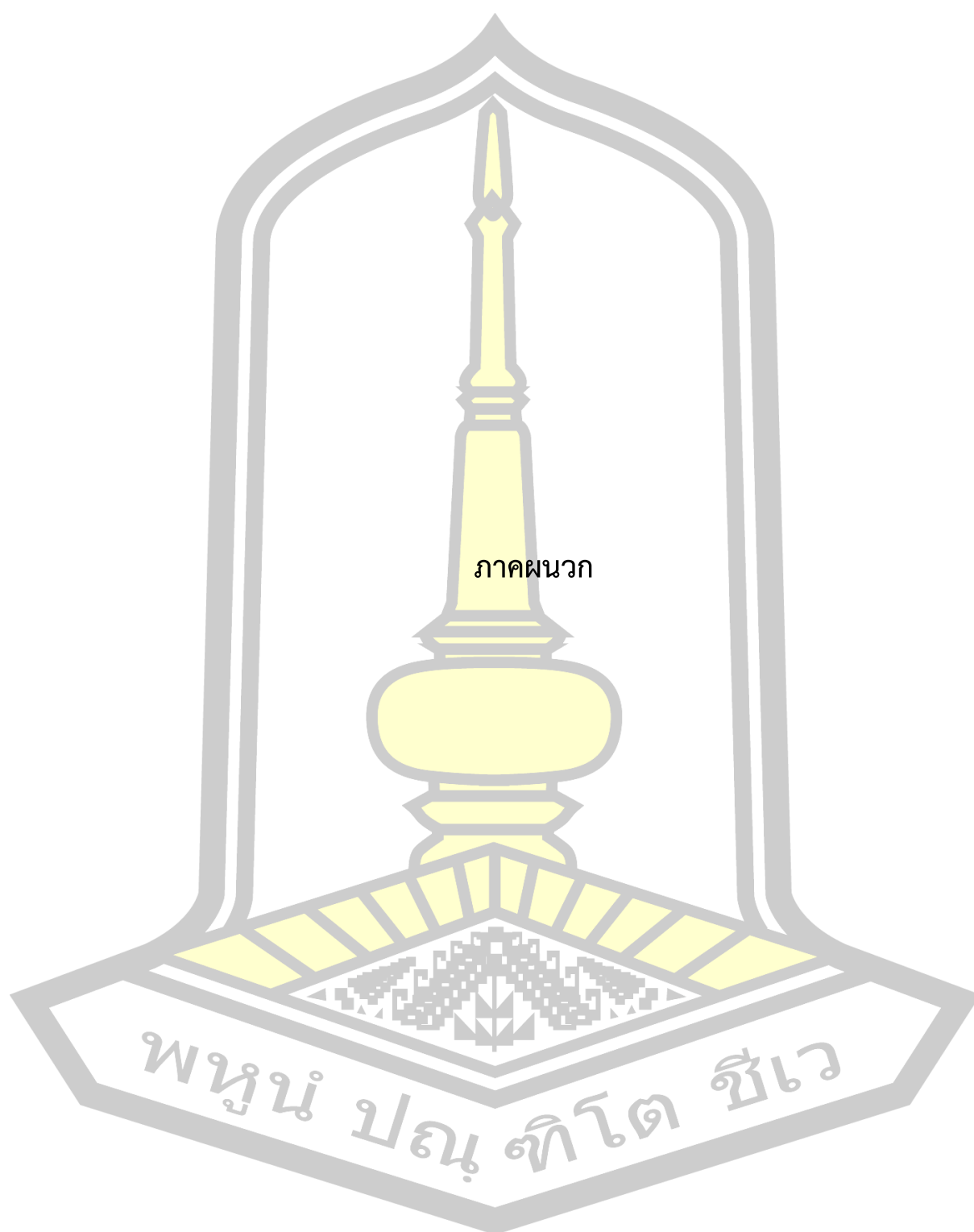
- Kirk, S., & Sawyer, R. (1991). *Pearson's composition and analysis of foods* (No. Ed. 9). Longman Group Ltd..
- Kitoh, S., Shiomi, N., & Uheda, E. (1993). The growth and nitrogen fixation of *Azolla filiculoides* Lam. in polluted water. *Aquatic botany*, 46(2), 129-139.
- Koberg, M., Cohen, M., Ben-Amotz, A., & Gedanken, A. (2011). Bio-diesel production directly from the microalgae biomass of *Nannochloropsis* by microwave and ultrasound radiation. *Bioresource technology*, 102(5), 4265-4269.
- Kollah, B., Patra, A. K., & Mohanty, S. R. (2016). Aquatic microphylla *Azolla*: a perspective paradigm for sustainable agriculture, environment and global climate change. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 4358-4369.
- Krushelnycky, P. D., Loope, L. L., Giambelluca, T. W., Starr, F., Starr, K., Drake, D. R., ... & Robichaux, R. H. (2013). Climate-associated population declines reverse recovery and threaten future of an iconic high-elevation plant. *Global change biology*, 19(3), 911-922.
- Leterme, P., Londono, A. M., Munoz, J. E., Suárez, J., Bedoya, C. A., Souffrant, W. B., & Buldgen, A. (2009). Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 149(1-2), 135-148.
- Li, T., Hasegawa, T., Yin, X., Zhu, Y., Boote, K., Adam, M., Bregaglio, S., Buis, S., Confalonieri, R., & Fumoto, T. (2015). Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. *Global change biology*, 21(3), 1328-1341.
- Malima, R., Oxborough, R., Tungu, P., Maxwell, C., Lyimo, I., Mwingira, V., Mosha, F., Matowo, J., Magesa, S., & Rowland, M. (2009). Behavioural and insecticidal effects of organophosphate-, carbamate- and pyrethroid-treated mosquito nets against African malaria vectors. *Medical and Veterinary Entomology*, 23(4), 317-325.

- Mashkani, S. G., & Ghazvini, P. T. M. (2009). Biotechnological potential of *Azolla filiculoides* for biosorption of Cs and Sr: Application of micro-PIXE for measurement of biosorption. *Bioresource technology*, 100(6), 1915-1921.
- Muradov, N., Taha, M., Miranda, A. F., Kadali, K., Gujar, A., Rochfort, S., ... & Mouradov, A. (2014). Dual application of duckweed and azolla plants for wastewater treatment and renewable fuels and petrochemicals production. *Biotechnology for biofuels*, 7(1), 1-17.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., & Van Cleemput, O. (1998). Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 52, 225-248.
- Nam, K. W., & Yoon, D. H. (2008). Usage of *Azolla* spp. as a Biofertilizer on the Environmental-Friendly Agriculture. *Korean Journal of Plant Resources*, 21(3), 230-235.
- Noorjahan, C. M., & Jamuna, S. (2015). Biodegradation of sewage waste water using *Azolla microphylla* and its reuse for aquaculture of fish tilapia mossambica. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 9(3), 75-80.
- Okech, B. A., Mwobobia, I. K., Kamau, A., Muiruri, S., Mutiso, N., Nyambura, J., Mwatele, C., Amano, T., & Mwandawiro, C. S. (2008). Use of integrated malaria management reduces malaria in Kenya. *PLoS One*, 3(12), e4050.
- Prabha, K., Kumar, T. R., Du, S. F., Vimalan, M., Dayalan, A., & Sagayaraj, P. (2010). Growth and characterization of a new non-linear optical barium strontium borate (BSB) single crystal. *Materials Chemistry and Physics*, 121(1-2), 22-27.
- Prabina, B. J., & Kumar, K. (2010). Dried *Azolla* as a nutritionally rich cost effective and immuno-modulatory feed supplement for broilers. *Asian Journal of Animal Science*, 5(1), 20-22.
- Rai, P. K. (2008). Heavy metal pollution in aquatic ecosystems and its phytoremediation using wetland plants: an ecosustainable approach. *International journal of phytoremediation*, 10(2), 133-160.

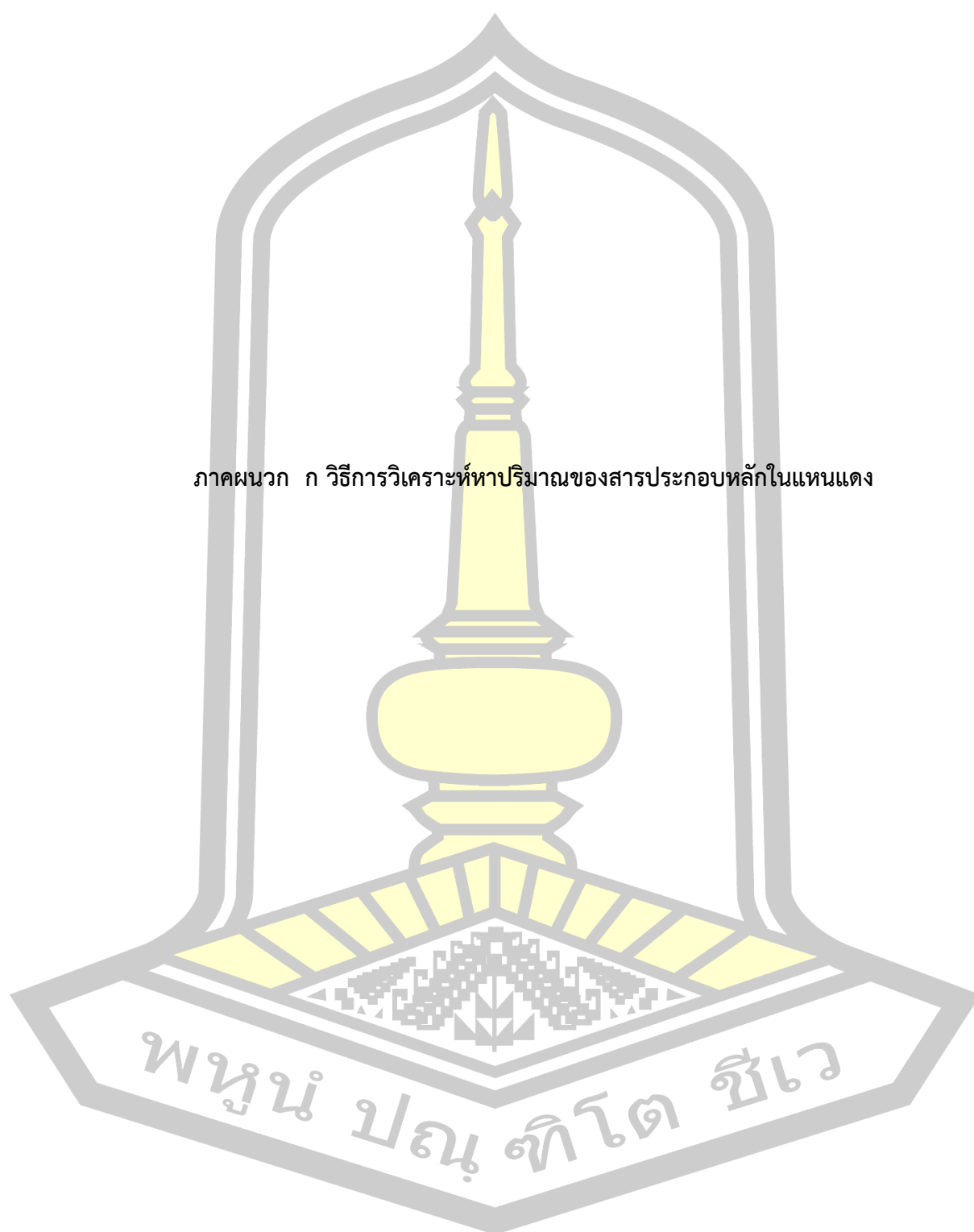
- Rai, P. K., & Tripathi, B. D. (2009). Comparative assessment of *Azolla pinnata* and *Vallisneria spiralis* in Hg removal from GB Pant Sagar of Singrauli Industrial region, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148(1-4), 75-84.
- Rai, P. K. (2010). (Rai, 2010), India. Environmental monitoring and assessment, 165(1), 407-433.
- Rai, P. K. (2010). Phytoremediation of heavy metals in a tropical impoundment of industrial region. *Environmental monitoring and assessment*, 165, 529-537.
- Rajendran, R., & Reuben, R. (1991). Evaluation of the water fern *Azolla microphylla* for mosquito population management in the rice-land agro-ecosystem of south India. *Medical and Veterinary Entomology*, 5(3), 299-310.
- Reay, D. S., Davidson, E. A., Smith, K. A., Smith, P., Melillo, J. M., Dentener, F., & Crutzen, P. J. (2012). Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature climate change*, 2(6), 410-416.
- Rice, E. W., Bridgewater, L., & American Public Health Association (Eds.). (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.
- Schor-Fumbarov, T., Goldsbrough, P. B., Adam, Z., & Tel-Or, E. (2005). Characterization and expression of a metallothionein gene in the aquatic fern *Azolla filiculoides* under heavy metal stress. *Planta*, 223, 69-76.
- Siraporn Cheunbarn & Tapana Cheunbarn. (2019). Study on Growth, Nutrients Accumulation and Release from *Azolla* Cultured in Swine Farm Effluent. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, Vol. 12, No. 1, 86-96.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., & Rice, C. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical transactions of the royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813.
- Surenthiran, S., & Loganathan, P. (2012, December). Carbon sequestration of *Azolla* and soil nitrogen mineralization. In *Proceedings of International Forestry and Environment Symposium* (Vol. 17).

- Tamang, Y., & Samanta, G. (1993). FEEDING VALUE OF AZOLLA (AZOLLA-PINNATA) AN AQUATIC FERN IN BLACK BENGAL GOATS. *Indian Journal of Animal Sciences*, 63(2), 188-191.
- Umali, L. J., Duncan, J. R., & Burgess, J. E. (2006). Performance of dead *Azolla filiculoides* biomass in biosorption of Au from wastewater. *Biotechnology letters*, 28, 45-50.
- Wagner, G. M. (1997). Azolla: a review of its biology and utilization. *The Botanical Review*, 63, 1-26.
- Wiwanthamongkon, W., Kaewprasisit, C., Juttupornpong, S., & Kanto, U. (2015). Heavy metal content in wastewater, effluent and biogas digested sludge from swine farms using anaerobic and aerobic wastewater treatment system. *Bulletin of The Department of Medical Sciences (Thailand)*.
- Yadav, R. K., Abraham, G., Singh, Y. V., & Singh, P. K. (2014, June). Advancements in the utilization of *Azolla-Anabaena* system in relation to sustainable agricultural practices. In *Proc Indian Natl Sci Acad* (Vol. 80, No. 2, pp. 301-316).
- Yatazawa, M., Tomomatsu, N., Hosoda, N., & Nunome, K. (1980). Nitrogen fixation in *Azolla-Anabaena* symbiosis as affected by mineral nutrient status. *Soil Science and Plant Nutrition*, 26(3), 415-426.





ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในแผนแดง



การวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในแทนแดง

1. การวิเคราะห์หาน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (Dry Matter) ในแทนแดง
อุปกรณ์และสารเคมี

1. ตู้อบแห้ง (Dry Oven)
2. โถดูดความชื้น
3. ถ้วยอะลูมิเนียม (Aluminium dish) และช้อนตักตัวอย่าง
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยมไม่ต่ำกว่า 3 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชม. นำออกใส่ไว้ให้เย็นใน
โถดูดความชื้น

2. ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียม

3. ตักตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วใส่ประมาณ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้แล้วนำตัวอย่าง
ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. (อาจใช้เวลา 4-8 ชม.) จนตัวอย่างแห้งคือ ชั่ง
น้ำหนักได้คงที่

การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$\% \text{ วัตถุแห้ง (Dry matter, DM)} = 100 - (\% \text{ ความชื้น})$$

$$W_1 = \text{น้ำหนักถ้วยอบ} + \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนักถ้วยอบ} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash) ในแทนแดง

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ถ้วยกระเบื้อง (Crucible) พร้อมฝาปิด และคีมคีบ (Tong)
2. ตู้ดูดควัน และ ตะเกียงเบนเซน
3. เตาเผา (Muffle furnace)
4. สารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium carbonate) ต่อน้ำอัตราส่วน 10:50

วิธีวิเคราะห์

1. เขียนหมายเลขถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิดด้วยดินสอเขียนแก้วกำกับ แล้วเผาในเตาเผาที่
อุณหภูมิ 550-570 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง นำออกมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งและบันทึกน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิด ตักตัวอย่างใส่ประมาณ 2 กรัม บันทึก

น้ำหนักร

3. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างปิดฝาไปเผาในตู้ดูดควันด้วยตะเกียงเบนเซน จนหมดควัน และตัวอย่างเป็นสีดำ
 4. นำเข้าเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-570 องศาเซลเซียส จนถ้าเป็นสีขาวหรือเทาอ่อน ปกติจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง (นับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเตาเผาถึงองศาที่กำหนด) จดบันทึกลักษณะของถ้ำที่ใด
 5. ถ้าถ้ำมีสีดำอยู่บ้างให้หยด Ammonium Carbonate 2-3 หยดลงบนถ้ำระเหยให้แห้ง แล้วเผาต่อในเตาเผาจนได้ถ้ำสีขาว
 6. ใช้คีมคีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาวางไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งและบันทึก น้ำหนักอย่างละเอียด
 7. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมถ้ำไปเผาต่ออีก 30 นาที แล้วนำมาดำเนินการเช่นเดียวกันกับข้อ 6 และถ้าน้ำหนักไม่คงที่ให้เผาซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่แสดงว่าเผาไหม้สมบูรณ์แล้ว
 8. หยดน้ำกลั่น 2-3 หยดลงในถ้ำเพื่อทำให้ชื้นและไม่ปลิวเก็บไว้เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อ
- การคำนวณ
- $$\% \text{ ถ้ำทั้งหมด (Total Ash)} = \frac{\text{น้ำหนักถ้ำทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Crude protein, CP) ในแผนแดง

วิธีการวิเคราะห์โดย Kjeldahl Method

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Kjeldahl digestion flask ขนาด 800 มิลลิลิตร
2. เครื่องอุปกรณ์สำหรับย่อยและกลั่นโปรตีน
3. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 หรือ 500 มิลลิลิตร
4. Pipette ขนาด 25 มิลลิลิตร
5. ชุดอุปกรณ์สำหรับไตเตรท ไดแก Burette ขาดังและแม่เหล็กช่วยกวน (magnetic stirrer)
6. ขวดฉีดบรรจุน้ำกลั่น
7. กระดาษแก้วชั่งสารที่ไม่มีไนโตรเจนปน สำหรับชั่งและห่อตัวอย่าง
8. สารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture) จำนวน 2 กรัม ต่อ flask ประกอบด้วย

Anhydrous Sodium

Sulfate (Na_2SO_4) 20 ส่วนและ Anhydrous Copper Sulfate (CuSO_4) 1 ส่วน โดย น้ำหนัก

9. Screen Methyl Red indicator
10. สารละลาย NaOH 45 เปอร์เซ็นต์จำนวน 80 มิลลิลิตร ต่อ flask
11. Standard 0.1 N H_2SO_4 หรือ 0.1 N HCl
12. Standard 0.1 N NaOH หรือ Boric acid 4% (saturated)
13. ลูกแก้ว (glass beads) 2-3 เม็ด ต่อ flask
14. กรด H_2SO_4 เข้มข้น 25 มิลลิลิตร ต่อ flask

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษชั่งสารชนิดที่ไม่มีไนโตรเจน ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน (ถ้าตัวอย่างมี โปรตีนสูง เช่น ปลาป่น ใช้ 0.5-1 กรัม หรือมีโปรตีนต่ำ เช่น ธัญพืชใช้ 2-4 กรัม) พับกระดาษเพื่อห่อ ตัวอย่างใส่ลงใน Kjeldahl digestion flask

2. เตรียม blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ไม่ใส่ตัวอย่าง ใส่เฉพาะกระดาษชั่งสาร

3. เติม catalyst mixture จำนวน 2 กรัม และลูกแก้ว 2 เม็ด ตวงกรด H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 25 มิลลิลิตรเทใส่ลงโดยค่อย ๆ เทข้างตัวอย่างที่อาจจะติดข้างคอขวดลงไปด้วย เขย่าอย่าง ระมัดระวังให้กรดเปียกทั่วตัวอย่าง

4. นำไปต้มย่อยบนเตาของเครื่องสำหรับย่อยโดยเปิดระบบดูดไอนกรดให้เรียบร้อยก่อน จึง เปิดสวิตซ์เตาให้ความร้อนควรเปิดที่สวิตซ์ไฟหมายเลข 2 (สังเกตพอให้กรดเดือดเบาๆ) ระหว่างการ ย่อยให้คอยหมุนขวดเป็นครั้งคราวเพื่อให้กรดไหลชะตัวอย่างที่ติดตามข้างผนังขวดลงมาทำปฏิกิริยา ได้หมด

5. ให้ต้มย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส หลังจากนั้น ให้ต้มย่อยต่ออีก 30 นาทีถึง 1 ชั่วโมง เพื่อให้การขาดด้วยจุยกาย เพื่อป้องกันไอนกรดพุ่งกระจาย)

6. หยุดให้ความร้อน รอให้เย็น เพื่อรอขั้นตอนการกลั่นต่อไป (ในกรณีต้องเอาขวดออกก่อน เย็น ให้ปิดปากขวดด้วยจุยกาย เพื่อป้องกันไอนกรดพุ่งกระจาย)

7. เตรียมการกลั่นโดย ใช้ Pipette ดูด Standard 0.1 N H_2SO_4 (หรือแทนด้วย Boric acid 4%) จำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วเติม Screen Methyl Red indicator 4 หยด นำไปต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่นโปรตีน โดยให้ปลายท่อของชุด ควบแน่น (Condenser) จุ่มอยู่ใต้ระดับของสารละลายใน Erlenmeyer flask

8. ทำเช่นเดียวกัน กับทุกขวดตัวอย่างรวมทั้ง blank จนแล้วเสร็จ

9. เตรียมชุดเครื่องกลั่นโปรตีน โดยเปิดน้ำไหลผ่าน Condenser ให้เย็น

10. เติมน้ำกลั่นประมาณ 300 - 400 มิลลิลิตรลงใน Kjeldahl digestion flask ที่ตัวอย่างถูก

ย่อยจนใสและเย็นแล้วค่อยๆเทน้ำกลั่นโดยให้น้ำไหลชะล้างคอขวดลงพร้อมกับเอียงและหมุนขวดไปด้วย

11. เติม NaOH 45% จำนวน 80 มิลลิลิตรลงใน Kjeldahl digestion flask ในลักษณะเอียงคอขวดให้ NaOH ค่อย ๆ ไหลไปตามข้างๆ ผนังขวดแล้วรีบนำไปปิดด้วยจุกยางที่ปลายท่อ Condenser ของชุดเครื่องกลั่น หมุนเขย่า Kjeldahl digestion flask เบาๆ เพื่อให้สารผสมเข้ากันดี หยดน้ำกลั่นให้เป็นฟิล์มรอบบริเวณรอยต่อของจุกยางที่ติดกับปาก Kjeldahl digestion flask ก่อนวางบนเตา เพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ

12. เปิดสวิตช์ให้ความร้อนจนแอมโมเนียถูกกลั่นออกมาใน Erlenmeyer flask อย่างน้อย 150 มิลลิลิตร จึงหยุดให้ความร้อน เลื่อนไม้คอร์คที่รองใต้ Erlenmeyer flask ออกให้ปลายท่อค้างไว้เหนือระดับสารละลายสักครู่เพื่อให้ตัวอย่างที่ตกค้างในปลายท่อไหลออกจากท่อให้หมด

13. ฉีดน้ำกลั่นชะล้างสารที่ติดอยู่รอบๆปลายท่อกลั่นก่อนที่จะยก Erlenmeyer flask ออก แล้วจึงนำไปรอขั้นตอนการไตเตรทต่อ

14. ก่อนการไตเตรท ให้ทำการล้างภายในระบบท่อของชุด Condenser หลังกลั่นเสร็จ โดยเติมน้ำกลั่นลงใน Erlenmeyer flask อีกใบหนึ่งประมาณ 200 มิลลิลิตร นำไปสวมเข้าปลายท่อกลั่น แทนที่ขวดตัวอย่างที่กลั่นเสร็จแล้ว ปิดสวิตช์เพื่อหยุดให้ความร้อน เมื่อ Kjeldahl digestion flask เย็นลงจะเกิดการดูดกลับของน้ำกลั่นขึ้นจาก Erlenmeyer flask ชะล้างท่อ condenser และไหลเข้าสู่ Kjeldahl digestion flask และเนื่องจากแรงดูดน้ำกลับค่อนข้างแรง ให้ระวัง Kjeldahl digestion flask จะถูกแรงกระแทกตกจากเตา

15. นำตัวอย่างที่กลั่นได้ไปทำการไตเตรทต่อโดยไตเตรท blank flask กับสารละลายมาตรฐาน 0.1 N NaOH (หรือ 0.1 N H₂SO₄ กรณีใช้ Boric acid) จนกระทั่งสีของ Indicator เปลี่ยนเป็นสีม่วงอมเทาหรือสีม่วงแดงคือจุดสิ้นสุดปฏิกิริยา (end point) จดบันทึกปริมาตรของสารที่ใช้

16. ทำการไตเตรทตัวอย่าง เช่นเดียวกันกับ blank โดยใช้ blank เป็นตัวเทียบสีของจุดสิ้นสุดปฏิกิริยา

วิธีการคำนวณ

ก. กรณีใช้กรดมาตรฐาน 0.1 N H₂SO₄ จับกับ NH₃ และใช้สารละลายมาตรฐาน 0.1 N NaOH ไตเตรท

1 มิลลิลิตร 0.1 M HCl หรือ 0.05 M H₂SO₄ = 0.014 g Nitrogen

$$\% \text{ Nitrogen} = \frac{(B-S) \times 0.014 \times N}{W} \times 100$$

W

B = มิลลิลิตรของ NaOH ที่ใช้ไตเตรท blank

S = มิลลิลิตรของ NaOH ที่ใช้ไทเทรต Sample

N = Normality ของ Standard NaOH

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

$$\begin{aligned}\% \text{ Crude Protein} &= \% \text{ Nitrogen} \times \text{approximate protein factor} \\ &= \% \text{ Nitrogen} \times 6.25\end{aligned}$$

4. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (Crude fat) ในแผนแดง

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. โถแก้วดูดความชื้น (Desiccator)
4. สำลี
5. ตู้อบลมร้อน
6. หลอดใส่ตัวอย่าง (Extraction thimber)
7. ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

บดตัวอย่างให้ละเอียด อบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5

ชั่วโมง นำตัวอย่างออกจากตู้อบลมร้อน ทิ้งให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2. การสกัดไขมัน

- 1) อบบีกเกอร์ประจำเครื่องสกัดในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ซึ่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรอง ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากให้ชั่ง 1.5 กรัม แต่ถ้าเป็นตัวอย่างที่มีไขมันน้อยให้ชั่ง 3-5 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในทิมเบิล (Extraction thimber) อุดด้านบนด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน
- 3) เปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่น และเปิดสวิตช์เครื่องสกัด
- 4) เติมตัวทำละลายปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) ลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิตร วางในเครื่องสกัด
- 5) ใส่ Thimble ที่บรรจุตัวอย่างแล้วลงในหลอดชอกท์เลท
- 6) ตั้งโปรแกรมการทำงานของเครื่อง

- 7) กลับแบบ Reflux ด้วยเครื่อง Steam bath เป็นเวลา 2.45 ชั่วโมง
- 8) เมื่อครบกำหนดเวลา เอา Thimble ออกจากหลอดสกัด นำบีกเกอร์ออกจากเครื่องสกัด นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน
- 9) คำนวณหาปริมาณไขมันจาก

วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์ที่มีไขมัน (กรัม)} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ที่ปราศจากไขมัน(กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) ในแผนแดงอุปกรณ์และสารเคมี

1. ชุดวิเคราะห์หาเยื่อใยซึ่งประกอบด้วยเตาให้ความร้อนและชุดควบแน่น (Condenser) ที่ใช้ควบคุมความเข้มข้นของกรด-ด่างในขณะต้มย่อยหาเยื่อใย

2. ชุดกรองเยื่อใย: ประกอบด้วยเครื่องกรองและผ้ากรอง หรือผ้าลินินบนกรวยกระเบื้อง (Buchner Funnel) ที่วางบนขวดรองรับ (Filtering flask) โดยอาศัยเครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) หรือ Suction pump ช่วยดูด

3. กระบอกแก้วชนิดขอบปากเรียบ สำหรับใส่ตัวอย่างขนาด 600 มิลลิลิตร
4. ถ้วยกระเบื้องหรือ Gooch Crucible ที่เผาไว้แล้วและกระดาดแก้วสำหรับชั่งตัวอย่าง
5. น้ำกลั่นร้อน
6. H_2SO_4 1.25% w/v หรือ 0.255 + 0.005 N
7. NaOH 1.25% w/v หรือ 0.313 N
8. แอลกอฮอล์ Methanol 95%
9. ขวดฉีดยาน้ำกลั่น ช้อนเขี่ย (Spatula)

วิธีวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้องและปล่อยให้เย็น ซึ่งและจดบันทึกน้ำหนักถ้วยกระเบื้องที่จะใช้
2. ใช้กระดาดชั่งสาร ตักตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม ซึ่งและจดบันทึกให้น้ำหนักตัวอย่างโดยละเอียดแล้วเทตัวอย่างใส่ลงในกระบอกแก้วสำหรับย่อย

3. ตวง H_2SO_4 1.25% ที่ได้ต้มใกล้เดือด 200 มิลลิลิตรลงในกระบอกแก้วถ้าตัวอย่างมีแป้งสูงหรือละเอียดมาก ให้ใส่ใยแก้ว (Prepared asbestos) 1 กรัม นำไปต้ม บนเตาของชุดย่อยหาเยื่อใยที่เปิดน้ำผ่านระบบควบแน่น (Condenser) เพื่อช่วยควบคุมความเข้มข้นของกรดให้คงที่ (ถ้าตัวอย่าง

มีฟองมากหรือต้มแล้วกระโดดมากให้หยด antifoam 1 หยดและ bumping chip 2-3 ชิ้นลงไปด้วย) ต้มให้เดือดนาน 30 นาทีและหยุดให้ความร้อนทันทีเมื่อเดือดครบ 30 นาที

4. รับนำตัวอย่างออกจากเครื่องย่อย แล้วกรองทันทีด้วยชุดกรอง (กรณีทีเครื่องกรองไม่ว่าง ให้เติมน้ำกลั่นเพื่อลดปฏิกิริยาการย่อย) ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นร้อนจนหมดกรด (ทดสอบด้วยกระดาษ litmus)

5. ตัก (ขูด) กากกลับลงในกระบอกแก้วเดิมโดยใช้ช้อนตักและ Spatula ช่วยเปีย

6. ย่อยด้วยด่างต่อไปโดย เติม NaOH 1.25% ที่ได้ต้มไล่เดือดจำนวน 200 มิลลิลิตรแล้วรับ นำกลับเข้าต้มในเครื่องย่อยให้เดือดเป็นเวลา 30 นาทีหยุดให้ความร้อนทันทีแล้วรับนำไปกรอง

7. ตัวอย่างที่นำออกจากเครื่องย่อย ต้องรับกรองสารละลายต่างออกเช่นเดียวกับข้อ 4 ล้าง กากที่เหลือนำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนแห้ง (ใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง หรือ 1 คืน) นำออกจาก ด้วยน้ำร้อนจนหมดต่างและล้างด้วย Alcohol 20-25 มิลลิลิตรชุดถ่ายกากใส่ในถ้วย กระเบื้องที่ได้ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว

8. ตูบปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งและบันทึกน้ำหนักโดยละเอียด (ชั่งน้ำหนักได้คงที่)

9. นำไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 500 +15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีแล้วปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น นำออกชั่งและบันทึกน้ำหนัก

วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ เยื่อใยทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักกากหลังอบแห้ง} - \text{น้ำหนักกากหลังจากเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

6. วิธีการย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยวิธี Dry ashing

วิธีการย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยวิธี Dry ashing (Armont et al, 1972) เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม

ขั้นตอนการย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยวิธี Dry ashing

1. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งและบดละเอียดแล้วจำนวน 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องทนไฟ เขียน หมายเลขถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิดด้วยดินสอเขียนแก้วกำกับ

2. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างปิดฝาไปเผาในตู้อบด้วยตะเกียงเบนเช่น จนหมดควัน และตัวอย่างเป็นสีดำ

3. เผาตัวอย่างต่อในเตาเผา (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550-570 องศาเซลเซียส จนถ้า เป็นสีขาวหรือเทาอ่อน ปกติจะใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง (นับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเตาเผาถึงองศาที่ กำหนด)

4. ถ้าถ้ามีสีดำอยู่บ้างให้หยด Ammonium Carbonate 2-3 หยดลงบนถ้ำระเหยให้แห้ง แล้วเผาต่อในเตาเผาจนได้แก๊สขาว
 5. ทิ้งไว้ให้เย็น
 6. เติมกรด HNO_3 20% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร
 7. ปิดด้วยกระจกนาฬิกาและอุ่นบนเตาไฟฟ้าอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที หรือจนถ้ำละลายหมด
 8. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
 9. ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาณให้เป็น 100 มิลลิลิตร
 10. เก็บสารละลายที่ได้เพื่อการวิเคราะห์ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม
-
7. การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม (Calcium, Ca) ในแผนแดง
- อุปกรณ์และสารเคมี
 1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
 2. Stock Standard Solution (1,000 ppm Ca)
 3. SrCl_2 Solution
 4. Solution ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยวิธี Dry ashing
- วิธีวิเคราะห์
 1. Stock Standard Solution (1,000 ppm Ca) จากขวด
 2. Intermediate Standard Solution (100 ppm Ca) : เตรียมโดย pipette 10 มิลลิลิตร ของ 1,000 ppm Ca ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น และปรับปริมาตร เป็น 100 มิลลิลิตร
 3. Working Standard Solution: เตรียม Standard 1 ชุด ประกอบด้วยความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20 ppm โดย pipette 0, 5, 10, 15, 20 มิลลิลิตร ของ 100 ppm Ca เติมกรดเปอร์คลอริก เข้มข้น 1 มิลลิลิตร และสารละลาย SrCl_2 อีก 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำ กลั่น
- ***การวัดแคลเซียมต้องเติมสารช่วยในการแตกตัวเป็นอะตอม เพื่อความแม่นยำและความ ถูกต้องในการวัดด้วย AAS ซึ่งสารละลาย SrCl_2 เป็นตัวที่นิยมใช้กันมาก มีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้ ชั่ง $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 30.4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร (หรือเตรียม 15.2 กรัม/ น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร) ดูดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 3.5.1.6 จำนวน 5 มิลลิลิตร เติม SrCl_2 1.25 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน วัดความ

เข้มข้นของแคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานชุด Working Standard Solution

$$\%Ca = \frac{\text{ppm Reading} \times \text{dilution factor} \times \text{volume (ที่หยอดด้วยกรด)}}{10^6 \times \text{นน. พีช}} \times 100$$

8. การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม (Potassium, K) ในแทนแดง อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
2. Stock Standard Solution (1,000 ppm K)
3. Solution ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยวิธี Dry ashing วิธีวิเคราะห์

1. Stock Standard Solution (1,000 ppm K) จากขวด

2. Intermediate Standard Solution (100 ppm K) : เตรียมโดย pipette 10 มิลลิลิตร ของ 1,000 ppm K ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3. Working Standard Solution: เตรียม Standard 1 ชุด ประกอบด้วยความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10 ppm โดย pipette 0, 2, 4, 6, 8, 10 มิลลิลิตร ของ 100 ppm K ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

4. ดูดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 3.5.1.6 จำนวน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน วัดความเข้มข้นของแคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานชุด Working Standard Solution

$$\%K = \frac{\text{ppm Reading} \times \text{dilution factor} \times \text{volume (ที่หยอดด้วยกรด)}}{10^6 \times \text{นน. พีช}} \times 100$$

9. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) ในแทนแดง อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง
2. Volumetric flask ขนาด 50, 100 และ 1000 มิลลิลิตร

3. Volumetric pipette ขนาด 1, 2, 3, 4, 5 และ 10 มิลลิลิตร
4. กระบอกแก้ว (Beaker) ขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร
5. Spectrophotometer ความยาวคลื่น 420 nm กระดาษกราฟ และ กระดาษชนิดนุ่ม และไม่เป็นขุย

6. Ammonium molybdate (AR)
7. Ammonium metavanadate (AR)
8. Nitric acid (AR)
9. Potassium dihydrogen orthophosphate (AR)

วิธีเตรียมสารเคมี

1. Vanado-molybdate reagent

1.1 ชั่ง Ammonium molybdate AR 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตรโดยใช้ความร้อนเข้าช่วยในการทำละลาย

1.2 ชั่ง Ammonium metavanadate AR 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตรแล้วเติม Nitric acid เข้มข้น 160 มิลลิลิตร

เมื่อสารทั้งสองเย็นลงจึงนำมาผสมกัน โดยถ่ายลงใน Volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน (stock standard) 1000 ppm P

ชั่ง Potassium dihydrogen orthophosphate AR ที่อบแห้งจำนวน 4.394 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วถ่ายลงใน Volumetric flask ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

วิธีคำนวณ stock standard 1000 ppm P จาก KH_2PO_4

$$[\text{K} = 39.10, \text{P} = 30.97, \text{H} = 1.01, \text{O} = 16]$$

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 \text{ มีน้ำหนักโมเลกุล (M.W.)} = 136.09$$

$$\text{Standard 1000 ppm P} = 1 \text{ g P/ลิตร}$$

$$= \frac{136.09 \times 1}{30.97} = 4.394 \text{ g KH}_2\text{PO}_4/\text{ลิตร}$$

ดังนั้นในการเตรียม stock standard 1000 ppm P ต้องใช้ KH_2PO_4 (AR) จำนวน 4.394 กรัม

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์แต่ละครั้ง จาก working standard 100 ppm P โดยดูดสารละลายของ 100 ppm P จำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตรลงใน Volumetric flask 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Vanado-molybdate จำนวน 5 มิลลิลิตร พร้อมทั้ง

เขย่าและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น และเขย่าให้ผสมกัน สารละลายมาตรฐานที่เตรียมมีความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm P ตามลำดับ

2. เตรียมตัวอย่างโดยใช้สารละลายของเถ้าที่ละลายในกรด

3. ตูตสารละลายตัวอย่างจำนวน 0.1-10 มิลลิลิตรลงใน Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร (ปริมาณที่ดูดขึ้นกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่าง เช่น จากพีชใช้ 10 มิลลิลิตรจาก สัตว์ใช้ 1 มิลลิลิตร)

4. เติมสารละลาย Vanado-molybdate จำนวน 5 มิลลิลิตร ด้วย pipette เขย่าและปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 15-30 นาทีแล้วจึงนำไปวัด

5. วิเคราะห์ความเข้มของสีที่เกิดขึ้นของตัวอย่างและสารละลายมาตรฐาน ด้วย Spectrophotometer ที่

ช่วงความยาวคลื่น 420 nm (เปิดเครื่องไว้ก่อน 30 นาที) อ่านและบันทึกค่า OD (Optical density) ของตัวอย่างและของสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm P ตามลำดับ

6. สร้างกราฟจากค่า OD ของสารละลาย P มาตรฐานที่ได้และอ่านค่าความเข้มข้นของ P ต่อมิลลิลิตรของตัวอย่างจากค่า OD ที่วัดได้นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ P ในตัวอย่าง

วิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในตัวอย่าง

สมมติใช้ตัวอย่างจำนวน W กรัม ปรับปริมาตรเป็น B มิลลิลิตรแล้วตูดสารละลายมา C มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่ใช้เถ้า Ash = W กรัม

Acid soluble ash ทั้งหมด = 250 มิลลิลิตร

ตูดมาใช้หา P จำนวน = C มิลลิลิตร (10 มิลลิลิตร)

ปรับปริมาตรก่อนวัดเป็น = D มิลลิลิตร (50 มิลลิลิตร)

จากกราฟมาตรฐาน P อ่านความเข้มข้นของ P จากค่า Absorbance (OD) ของตัวอย่าง

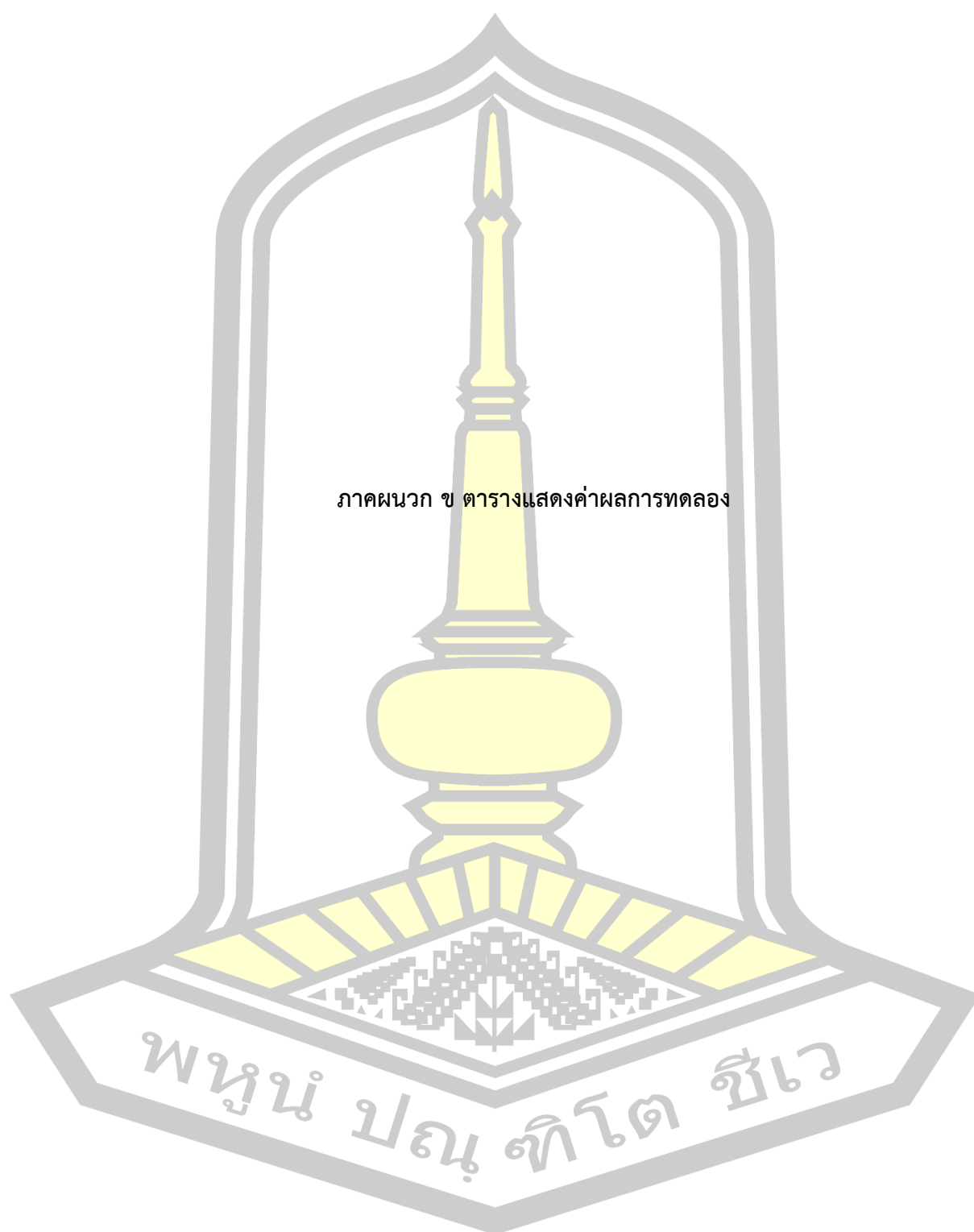
ได้ความเข้มข้นของ P ใน ตัวอย่างที่ใช้ = E ppm /มิลลิลิตร

ดังนั้น D มิลลิลิตร มี P รวม = E x D ppm

ดังนั้นใน Acid soluble ash จำนวน C มิลลิลิตร มี P = E x D ppm

ในตัวอย่างหนัก W กรัม (250 มิลลิลิตร) มี P = $\frac{E \times D \times 250}{C}$ ppm [หรือ มก./1000 กรัม]

$$\begin{aligned} &= \frac{E \times D \times 250}{C \times 1000} \text{ กรัม} \quad \% \text{ Total P} = \frac{E \times D \times 250}{C \times 1000 \times W} \times 100 \end{aligned}$$



1. ผลการวิเคราะห์หัตถการเจริญเติบโตของແໜແຈງจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรโดยการ
กำหนดสภาวะการทดลองทั้ง 6 สภาวะ ที่ 21 วัน

ตารางแสดงการวิเคราะห์หัตถการเจริญเติบโตของແໜແຈງจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรจากสภาวะการ
ทดลอง 6 สภาวะ หลังเพาะเลี้ยง 21 วัน

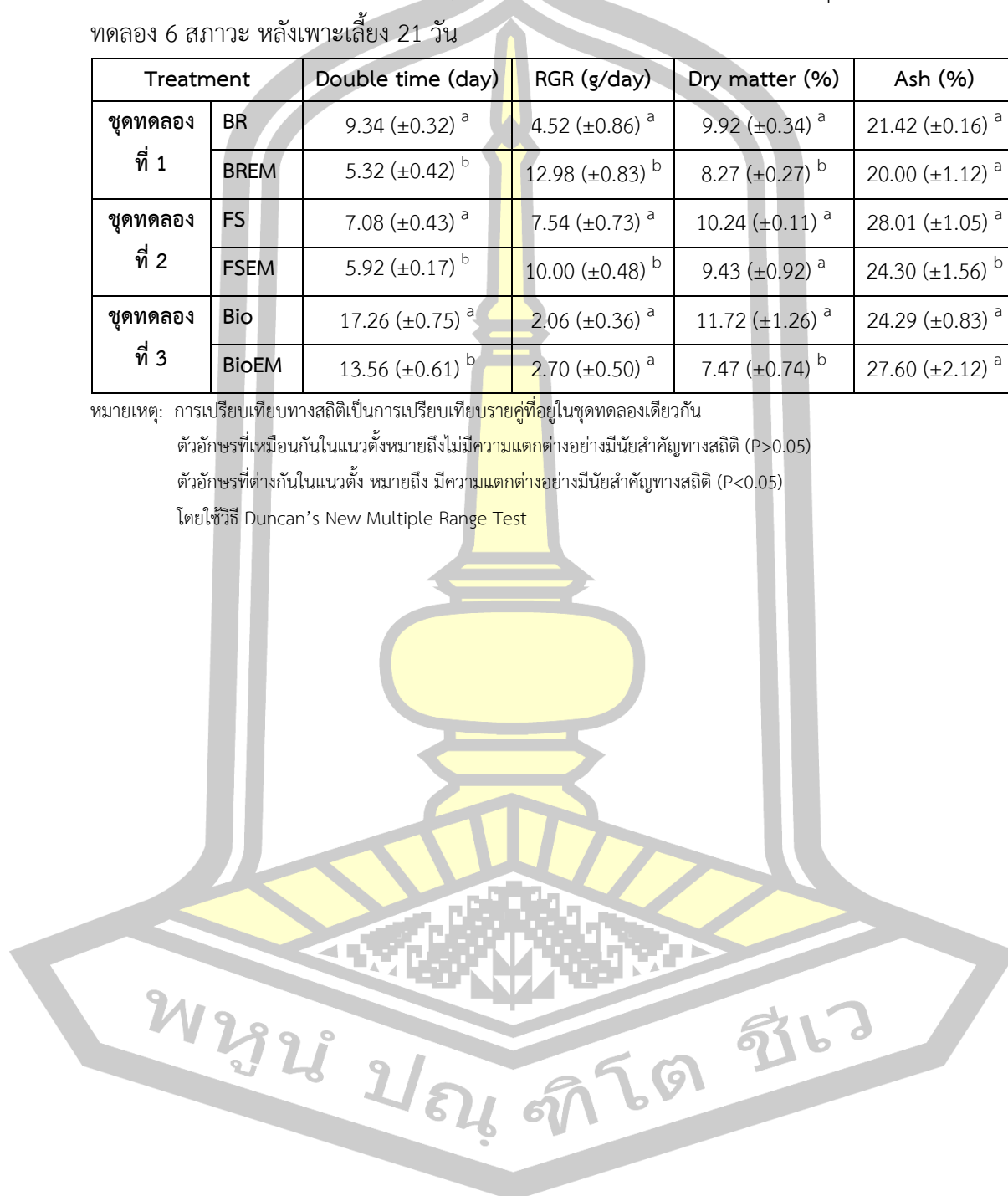
Treatment		Double time (day)	RGR (g/day)	Dry matter (%)	Ash (%)
ชุดทดลอง ที่ 1	BR	9.34 (± 0.32) ^a	4.52 (± 0.86) ^a	9.92 (± 0.34) ^a	21.42 (± 0.16) ^a
	BREM	5.32 (± 0.42) ^b	12.98 (± 0.83) ^b	8.27 (± 0.27) ^b	20.00 (± 1.12) ^a
ชุดทดลอง ที่ 2	FS	7.08 (± 0.43) ^a	7.54 (± 0.73) ^a	10.24 (± 0.11) ^a	28.01 (± 1.05) ^a
	FSEM	5.92 (± 0.17) ^b	10.00 (± 0.48) ^b	9.43 (± 0.92) ^a	24.30 (± 1.56) ^b
ชุดทดลอง ที่ 3	Bio	17.26 (± 0.75) ^a	2.06 (± 0.36) ^a	11.72 (± 1.26) ^a	24.29 (± 0.83) ^a
	BioEM	13.56 (± 0.61) ^b	2.70 (± 0.50) ^a	7.47 (± 0.74) ^b	27.60 (± 2.12) ^a

หมายเหตุ: การเปรียบเทียบทางสถิติเป็นการเปรียบเทียบรายคู่ที่อยู่ในชุดทดลองเดียวกัน

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดังหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตัวอักษรที่ต่างกันแนวดัง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test



2. ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของແໜແດງທີ່ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำที่ทั้งโดยการกำหนดสภาวะการทดลอง 6 สภาวะ ที่ 21 วัน
ตารางแสดงการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของແໜແດງที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำที่ทั้งจากการฟาร์มสุกร 6 สภาวะหลังการเพาะเลี้ยง 21 วัน

Treatment	TKN (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Ca (%)	P (%)	K (%)
ชุดทดลอง ที่ 1	BR	17.76 (± 0.48) ^a	2.30 (± 0.10) ^a	14.12 (± 0.05) ^a	0.16 (± 0.04) ^a	1.54 (± 0.07) ^a
	BREM	20.82 (± 0.10) ^b	2.94 (± 0.13) ^b	12.39 (± 0.16) ^b	0.15 (± 0.02) ^a	1.63 (± 0.18) ^a
ชุดทดลอง ที่ 2	FS	14.55 (± 0.90) ^a	1.88 (± 0.04) ^a	12.12 (± 0.08) ^a	0.13 (± 0.03) ^a	1.50 (± 0.20) ^a
	FSEM	16.22 (± 0.78) ^a	0.78 (± 0.05) ^b	12.62 (± 0.08) ^b	0.14 (± 0.01) ^a	1.75 (± 0.30) ^a
ชุดทดลอง ที่ 3	Bio	19.31 (± 0.27) ^a	1.80 (± 0.05) ^a	13.81 (± 0.04) ^a	0.15 (± 0.05) ^a	2.09 (± 0.61) ^a
	BioEM	20.61 (± 0.81) ^a	1.77 (± 0.07) ^a	13.74 (± 0.11) ^a	0.22 (± 0.07) ^a	2.84 (± 0.50) ^a

หมายเหตุ: การเปรียบเทียบสถิติเป็นการเปรียบเทียบกันในแต่ละชุดทดลองเท่านั้น

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตัวอักษรที่ต่างกันแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

3. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของแผนแสดงจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร 3 แหล่งโดยการกำหนดสภาวะการทดลองทั้ง 6 สภาวะ
 ตารางแสดงการประเมินความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรทั้ง 6 สภาวะที่ 0 วันและหลังการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียที่ 21

Treatment		ชุดทดลองที่ 1			ชุดทดลองที่ 2			ชุดทดลองที่ 3	
		BR	BREM	FS	FSEM	Bio	BioEM		
pH	0 day	7.60 (± 0.00) ^{Aa}	7.40 (± 0.00) ^{Bb}	8.10 (± 0.00) ^{Aa}	7.30 (± 0.00) ^{Bb}	7.60 (± 0.00) ^{Aa}	7.60 (± 0.00) ^{Ac}		
	21 day	8.23 (± 0.06) ^{Cc}	8.07 (± 0.06) ^{Dd}	8.77 (± 0.06) ^{Cc}	7.93 (± 0.06) ^{Dd}	7.83 (± 0.15) ^{Bb}	8.00 (± 0.10) ^{Bd}		
pH (ร้อยละ)		+8.33	+9.01	+8.23	+8.68	+3.07	+5.26		
BOD	0 day	154.00 (± 0.00) ^{Aa}	300.00 (± 0.00) ^{Cc}	1950.00 (± 0.00) ^{Aa}	660.00 (± 0.00) ^{Bb}	1995.00 (± 0.00) ^{Aa}	3120.00 (± 0.00) ^{Bb}		
	21 day	38.50 (± 4.39) ^{Cc}	157.70 (± 2.00) ^{Dd}	268.00 (± 19.00) ^{Cc}	162.00 (± 4.50) ^{Dd}	544.22 (± 13.28) ^{Cc}	444.83 (± 6.71) ^{Dd}		
BOD (ร้อยละ)		-75.00	-47.43	-86.26	-75.45	-72.72	-85.74		
COD	0 day	180.00 (± 0.00) ^{Aa}	80.00 (± 5.29) ^{Bb}	920.00 (± 0.00) ^{Aa}	1280.00 (± 0.00) ^{Bb}	570.00 (± 0.00) ^{Aa}	910.00 (± 0.00) ^{Bb}		
	21 day	1080.00 (± 0.00) ^{Cc}	176.25 (± 13.75) ^{Dd}	270.67 (± 6.43) ^{Cc}	340.00 (± 10.00) ^{Dd}	251.88 (± 9.38) ^{Cc}	427.50 (± 12.50) ^{Dd}		
COD (ร้อยละ)		-55.56	-83.68	-70.58	-73.44	-55.81	-53.02		
SS	0 day	1.20 (± 0.02) ^{Aa}	1.40 (± 0.04) ^{Bb}	0.30 (± 0.04) ^{Aa}	0.50 (± 0.02) ^{Bb}	0.90 (± 0.11) ^{Aa}	1.00 (± 0.02) ^{Ac}		
	21 day	1.40 (± 0.10) ^{Cc}	1.40 (± 0.10) ^{Dd}	1.40 (± 0.02) ^{Cc}	2.05 (± 0.05) ^{Dd}	2.55 (± 0.13) ^{Bb}	2.47 (± 0.03) ^{Bd}		
SS (ร้อยละ)		+16.99	-0.24	+373.03	+307.28	+184.39	+146.18		
TKN	0 day	62.79 (± 0.02) ^{Aa}	50.53 (± 0.45) ^{Bb}	54.34 (± 0.04) ^{Aa}	29.14 (± 0.15) ^{Bb}	4.13 (± 0.09) ^{Aa}	8.82 (± 0.17) ^{Bb}		
	21 day	3.22 (± 0.07) ^{Cc}	7.39 (± 0.11) ^{Dd}	8.65 (± 0.18) ^{Cc}	8.53 (± 0.27) ^{Dd}	2.37 (± 0.11) ^{Cc}	5.74 (± 0.07) ^{Dd}		
TKN (ร้อยละ)		-94.87	-85.38	-84.09	-70.74	-42.70	-34.90		

ตารางแสดงการประเมินความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากฟาร์มสุกรทั้ง 6 สภาวะที่ 0 วันและหลังการเพาะเลี้ยงแ่นแดงที่ 21 (ต่อ)

Treatment		ชุดทดลองที่ 1			ชุดทดลองที่ 2			ชุดทดลองที่ 3	
		BR	BREM	FS	FSEM	Bio	BioEM		
TP (mg/L)	0 day	57.10 (±1.80) ^{Aa}	115.18 (±4.21) ^{Bb}	212.19 (±0.74) ^{Aa}	284.30 (±11.62) ^{Bb}	2042.60 (±5.36) ^{Aa}	6869.01 (±11.99) ^{Bb}		
	21 day	10.97 (±1.37) ^{Cc}	19.06 (±1.02) ^{Dd}	74.80 (±4.93) ^{Cc}	104.89 (±1.74) ^{Dd}	1097.46 (±8.29) ^{Cc}	1181.27 (±7.61) ^{Dd}		
TP (ร้อยละ)		-80.79	-83.45	-64.75	-63.11	-46.27	-82.80		
TK (mg/L)	0 day	146.54 (±0.74) ^{Aa}	153.04 (±0.16) ^{Bb}	452.12 (±1.98) ^{Aa}	833.36 (±0.86) ^{Bb}	556.22 (±0.12) ^{Aa}	601.21 (±0.09) ^{Bc}		
	21 day	24.53 (±0.29) ^{Cc}	51.28 (±0.78) ^{Dd}	158.20 (±2.38) ^{Cc}	136.09 (±2.18) ^{Dd}	218.17 (±2.89) ^{Cc}	151.82 (±1.11) ^{Dd}		
TK (ร้อยละ)		-83.26	-66.49	-65.01	-83.67	-60.78	-74.75		

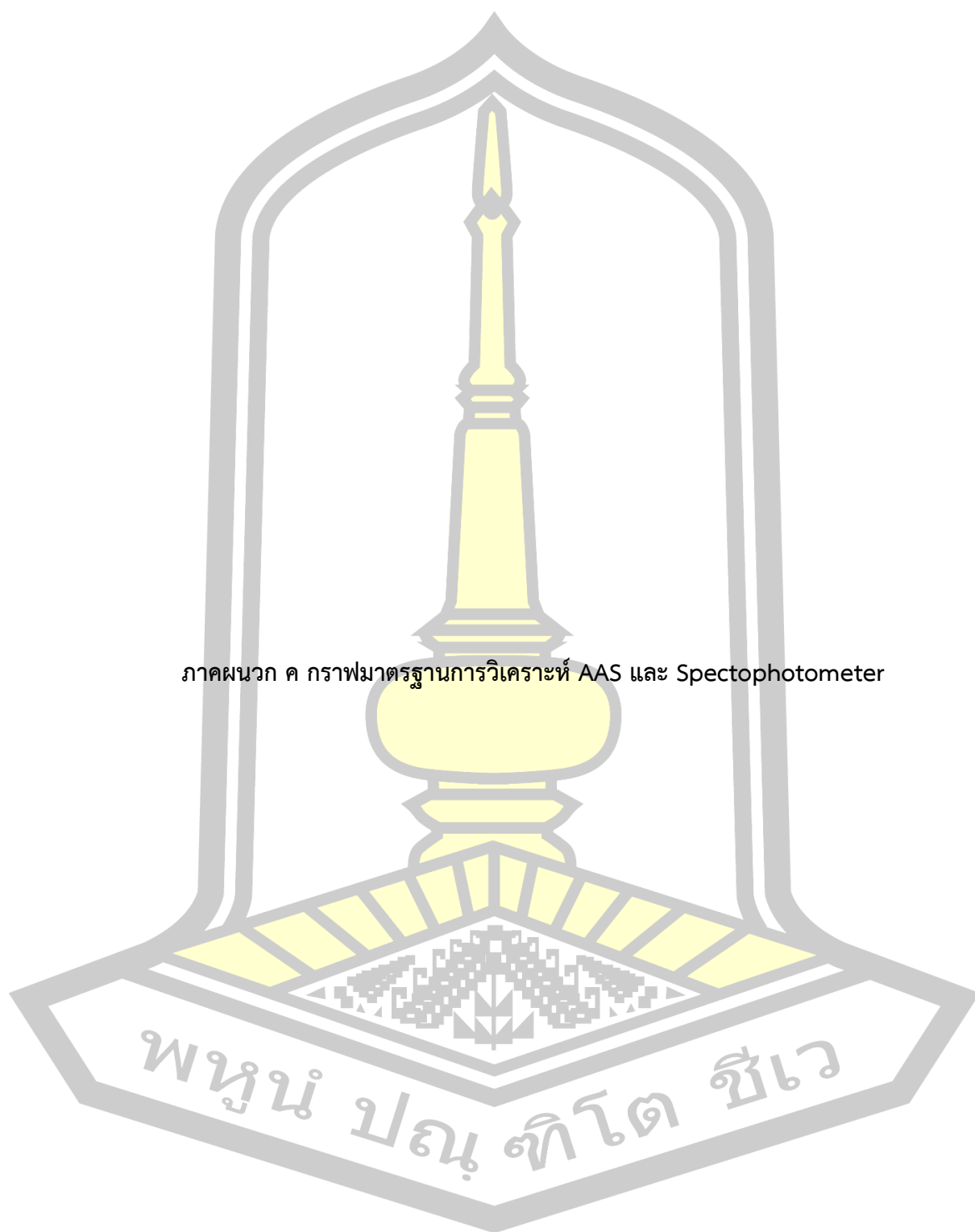
หมายเหตุ1: ค่าเป็นลบ (-) ประสิทธิภาพของแ่นแดงที่สามารถบำบัดน้ำเสียให้คุณภาพดีขึ้น ค่าเป็นบวก (+) ประสิทธิภาพของแ่นแดงที่ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้คุณภาพดีขึ้น

หมายเหตุ2: การเปรียบเทียบทางสถิติเป็นการเปรียบเทียบกันในแต่ละชุดทดลองเท่านั้น

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแต่ละแถวและแนวนอน ในชุดทดลอง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

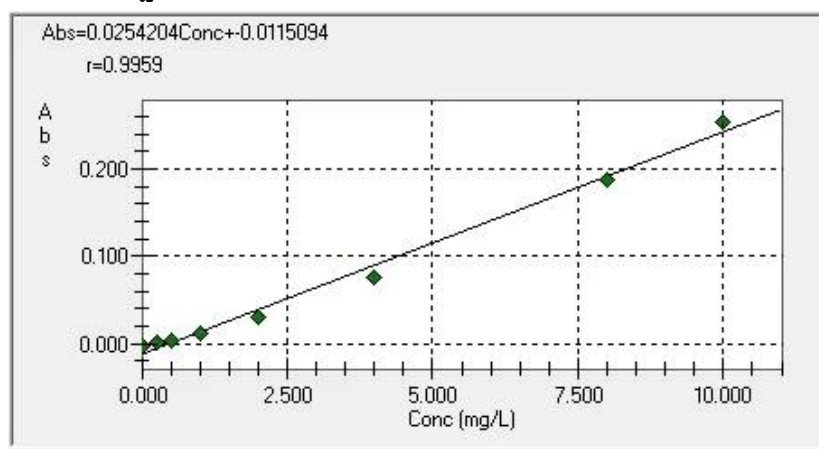
ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวและแนวนอน ในชุดทดลอง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

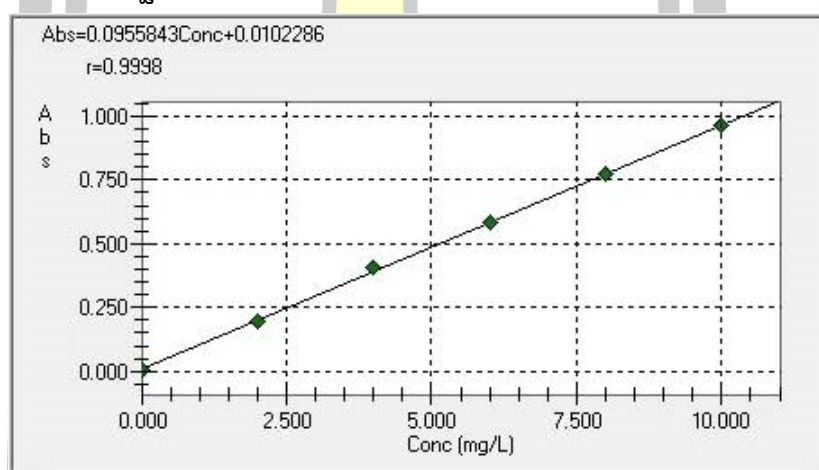


ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ AAS และ Spectrophotometer

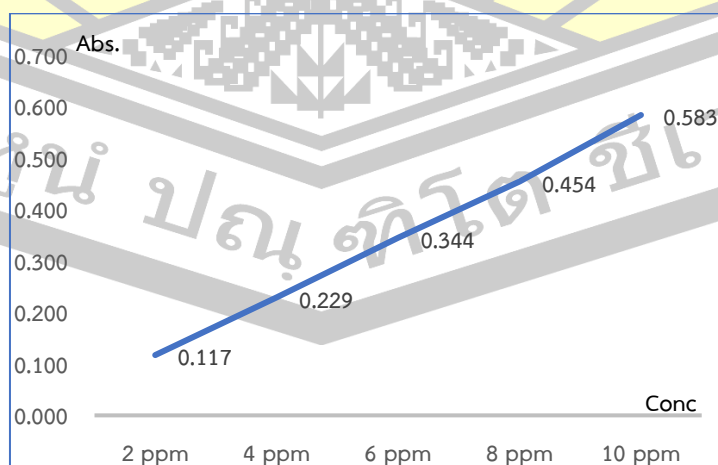
1. กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณ Calcium ของແຫນແຕງ (mg/L) (AAS)

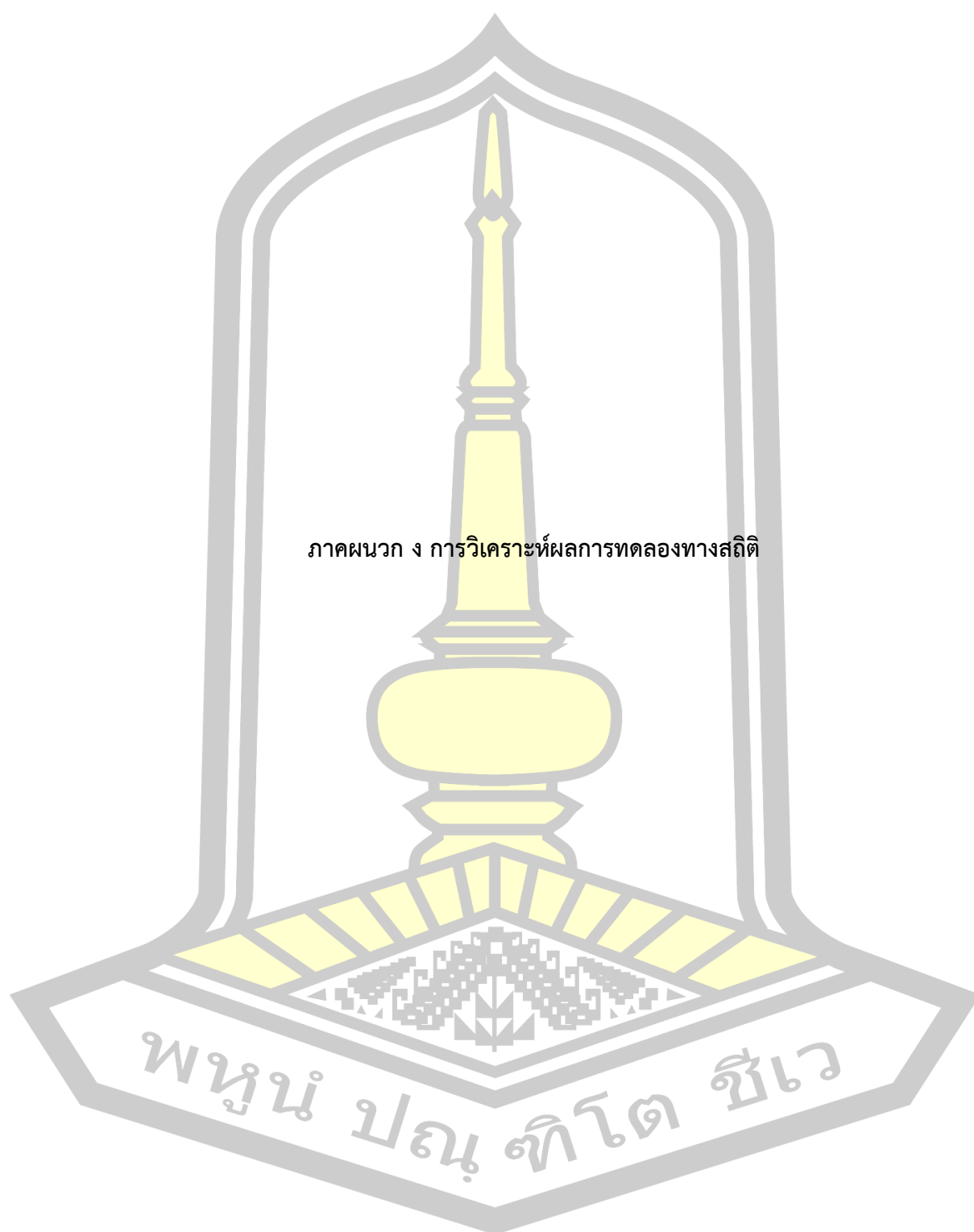


2. กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณ Potassium ของແຫນແຕງ (mg/L) (AAS)



3. กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณ Phosphorus ของແຫນແຕງ (mg/L) (Spectrophotometer)





การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

1. การประเมินอัตราการเจริญเติบโตของแห่นางเต่าที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

1.1 อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (Doubling time)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		
					Lower Bound	Upper Bound	Minimum
BR	3	9.3400	.32000	.18475	8.5451	10.1349	9.02
BREM	3	5.3167	.41621	.24030	4.2827	6.3506	4.92
Total	6	7.3283	2.22855	.90980	4.9896	9.6670	4.92

Descriptives

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	Maximum
BR	9.66
BREM	5.75
Total	9.66

ANOVA

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24.281	1	24.281	176.182	.000
Within Groups	.551	4	.138		
Total	24.832	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		
					Lower Bound	Upper Bound	Minimum
FS	3	7.0800	.42930	.24786	6.0136	8.1464	6.62
FSEM	3	5.9200	.17000	.09815	5.4977	6.3423	5.75
Total	6	6.5000	.69926	.28547	5.7662	7.2338	5.75

Descriptives

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	Maximum
FS	7.47
FSEM	6.09
Total	7.47

ANOVA

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.018	1	2.018	18.934	.012
Within Groups	.426	4	.107		
Total	2.445	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
Bio	3	17.2600	.75000	.43301	15.3969	19.1231	16.51
BioEM	3	13.5633	.60368	.34854	12.0637	15.0630	13.08
Total	6	15.4117	2.11433	.86317	13.1928	17.6305	13.08

Descriptives

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	Maximum
Bio	18.01
BioEM	14.24
Total	18.01

ANOVA

ระยะเวลาที่เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20.498	1	20.498	44.228	.003
Within Groups	1.854	4	.463		
Total	22.352	5			

1.2 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate : RGR)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
BR	3	4.5233	.85979	.49640	2.3875	6.6592	3.57
BREM	3	12.9767	.83500	.48209	10.9024	15.0509	12.14
Total	6	8.7500	4.69172	1.91539	3.8263	13.6737	3.57

Descriptives

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

	Maximum
BR	5.24
BREM	13.81
Total	13.81

ANOVA

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	107.188	1	107.188	149.239	.000
Within Groups	2.873	4	.718		
Total	110.061	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

อัตราการเรียนรู้เดบิตสัมพันธ์

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
FS	3	7.5367	.72776	.42017	5.7288	9.3445	6.90
FSEM	3	10.0000	.48000	.27713	8.8076	11.1924	9.52
Total	6	8.7683	1.45754	.59504	7.2387	10.2979	6.90

Descriptives

อัตราการเรียนรู้เดบิตสัมพันธ์

	Maximum
FS	8.33
FSEM	10.48
Total	10.48

ANOVA

อัตราการเรียนรู้เดบิตสัมพันธ์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.102	1	9.102	23.952	.008
Within Groups	1.520	4	.380		
Total	10.622	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

อัตราการเรียนรู้เดบิตสัมพันธ์

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
Bio	3	2.0633	.36116	.20851	1.1662	2.9605	1.67
BioEM	3	2.7000	.49960	.28844	1.4589	3.9411	2.14
Total	6	2.3817	.52308	.21355	1.8327	2.9306	1.67

Descriptives

อัตราการเรียนรู้เดบิตสัมพันธ์

	Maximum
Bio	2.38
BioEM	3.10
Total	3.10

ANOVA

อัตราการเรียนรู้เดบิตสัมพันธ์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.608	1	.608	3.200	.148
Within Groups	.760	4	.190		
Total	1.368	5			

1.3 ปริมาณวัตถุแห้ง (% Dry matter basis, DM)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

Dry matter

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
BR	3	9.9233	.33561	.19376	9.0896	10.7570	9.60
BREM	3	8.2633	.26858	.15506	7.5962	8.9305	8.07
Total	6	9.0933	.94899	.38742	8.0974	10.0892	8.07

Descriptives

Dry matter

	Maximum
BR	10.27
BREM	8.57
Total	10.27

ANOVA

Dry matter

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.133	1	4.133	44.742	.003
Within Groups	.370	4	.092		
Total	4.503	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

Dry matter

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
BR	3	10.2433	.11240	.06489	9.9641	10.5225	10.12
FSEM	3	9.4300	.92482	.53395	7.1326	11.7274	8.70
Total	6	9.8367	.73867	.30156	9.0615	10.6118	8.70

Descriptives

Dry matter

	Maximum
BR	10.34
FSEM	10.47
Total	10.47

ANOVA

Dry matter

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.992	1	.992	2.287	.205
Within Groups	1.736	4	.434		
Total	2.728	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

Dry matter

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
Bio	3	11.7167	1.26437	.72998	8.5758	14.8575	10.28
BioEM	3	7.4700	.73899	.42665	5.6343	9.3057	6.62
Total	6	9.5933	2.50363	1.02210	6.9659	12.2207	6.62

Descriptives

Dry matter

	Maximum
Bio	12.66
BioEM	7.96
Total	12.66

ANOVA

Dry matter

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	27.051	1	27.051	25.226	.007
Within Groups	4.289	4	1.072		
Total	31.341	5			

1.4 ปริมาณเถ้า (Ash)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ปริมาณเถ้า

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
BR	3	21.4233	.15503	.08950	21.0382	21.8084	21.27
BREM	3	20.0000	1.11906	.64609	17.2201	22.7799	18.71
Total	6	20.7117	1.05750	.43172	19.6019	21.8214	18.71

Descriptives

ปริมาณเถ้า

	Maximum
BR	21.58
BREM	20.71
Total	21.58

ANOVA

ปริมาณเถ้า

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.039	1	3.039	4.762	.095
Within Groups	2.553	4	.638		
Total	5.591	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ปริมาณแก้ว							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
FS	3	28.0100	1.05000	.60622	25.4017	30.6183	26.96
FSEM	3	24.3033	1.55603	.89838	20.4379	28.1687	22.55
Total	6	26.1567	2.35187	.96015	23.6885	28.6248	22.55

Descriptives

ปริมาณแก้ว	
	Maximum
FS	29.06
FSEM	25.52
Total	29.06

ANOVA

ปริมาณแก้ว					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20.609	1	20.609	11.697	.027
Within Groups	7.047	4	1.762		
Total	27.657	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ปริมาณแก้ว							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
Bio	3	24.2967	.82706	.47751	22.2421	26.3512	23.37
BioEM	3	27.6033	2.11500	1.22110	22.3494	32.8573	25.49
Total	6	25.9500	2.31152	.94367	23.5242	28.3758	23.37

Descriptives

ปริมาณแก้ว	
	Maximum
Bio	24.96
BioEM	29.72
Total	29.72

ANOVA

ปริมาณแก้ว					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16.401	1	16.401	6.360	.065
Within Groups	10.315	4	2.579		
Total	26.716	5			

2. การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของแผนแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์ม

สุกร

2.1 ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ปริมาณไนโตรเจน

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
BR	3	17.7633	.48501	.28002	16.5585	18.9682	17.28
BREM	3	20.8200	.10000	.05774	20.5716	21.0684	20.72
Total	6	19.2917	1.70325	.69535	17.5042	21.0791	17.28

Descriptives

ปริมาณไนโตรเจน

	Maximum
BR	18.25
BREM	20.92
Total	20.92

ANOVA

ปริมาณไนโตรเจน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.015	1	14.015	114.298	.000
Within Groups	.490	4	.123		
Total	14.505	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ปริมาณไนโตรเจน

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
FS	3	14.5533	.89802	.51847	12.3225	16.7841	13.53
FSEM	3	16.2200	.78000	.45033	14.2824	18.1576	15.44
Total	6	15.3867	1.18291	.48292	14.1453	16.6281	13.53

Descriptives

ปริมาณไนโตรเจน

	Maximum
FS	15.21
FSEM	17.00
Total	17.00

ANOVA

ปริมาณไนโตรเจน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.167	1	4.167	5.890	.072
Within Groups	2.830	4	.707		
Total	6.996	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ปริมาณไนโตรเจน

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
Bio	3	19.3100	.27000	.15588	18.6393	19.9807	19.04
BioEM	3	20.6033	.81464	.47033	18.5797	22.6270	20.06
Total	6	19.9567	.89243	.36433	19.0201	20.8932	19.04

Descriptives

ปริมาณไนโตรเจน

	Maximum
Bio	19.58
BioEM	21.54
Total	21.54

ANOVA

ปริมาณไนโตรเจน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.509	1	2.509	6.813	.059
Within Groups	1.473	4	.368		
Total	3.982	5			

2.2 ปริมาณไขมัน (Fat)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ปริมาณไขมัน

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
BR	3	2.3033	.09815	.05667	2.0595	2.5472	2.19
BREM	3	2.9367	.12662	.07311	2.6221	3.2512	2.80
Total	6	2.6200	.36139	.14754	2.2407	2.9993	2.19

Descriptives

ปริมาณไขมัน

	Maximum
BR	2.36
BREM	3.05
Total	3.05

ANOVA

ปริมาณไขมัน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.602	1	.602	46.883	.002
Within Groups	.051	4	.013		
Total	.653	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ปริมาณไขมัน							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
FS	3	1.8800	.04583	.02646	1.7662	1.9938	1.83
FSEM	3	.7867	.05132	.02963	.6592	.9141	.73
Total	6	1.3333	.60042	.24512	.7032	1.9634	.73

Descriptives

ปริมาณไขมัน	
	Maximum
FS	1.92
FSEM	.83
Total	1.92

ANOVA

ปริมาณไขมัน					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.793	1	1.793	757.634	.000
Within Groups	.009	4	.002		
Total	1.803	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ปริมาณไขมัน							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
Bio	3	1.8000	.04583	.02646	1.6862	1.9138	1.75
BioEM	3	1.7767	.07095	.04096	1.6004	1.9529	1.70
Total	6	1.7883	.05492	.02242	1.7307	1.8460	1.70

Descriptives

ปริมาณไขมัน	
	Maximum
Bio	1.84
BioEM	1.84
Total	1.84

ANOVA

ปริมาณไขมัน					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	1	.001	.229	.657
Within Groups	.014	4	.004		
Total	.015	5			

2.3 ปริมาณเยื่อใยอาหาร (Fiber)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ปริมาณเยื่อใยอาหาร							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
BR	3	14.1167	.05132	.02963	13.9892	14.2441	14.06
BREM	3	12.3867	.15503	.08950	12.0016	12.7718	12.23
Total	6	13.2517	.95317	.38913	12.2514	14.2520	12.23

Descriptives

ปริมาณเยื่อใยอาหาร	
	Maximum
BR	14.16
BREM	12.54
Total	14.16

ANOVA

ปริมาณเยื่อใยอาหาร					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.489	1	4.489	336.701	.000
Within Groups	.053	4	.013		
Total	4.543	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ปริมาณเยื่อใยอาหาร							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
FS	3	12.1133	.07767	.04485	11.9204	12.3063	12.05
FSEM	3	12.6200	.08185	.04726	12.4167	12.8233	12.55
Total	6	12.3667	.28654	.11698	12.0660	12.6674	12.05

Descriptives

ปริมาณเยื่อใยอาหาร	
	Maximum
FS	12.20
FSEM	12.71
Total	12.71

ANOVA

ปริมาณเยื่อใยอาหาร					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.385	1	.385	60.482	.001
Within Groups	.025	4	.006		
Total	.411	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ปริมาณเชื้ออาหาร							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
Bio	3	13.8133	.03512	.02028	13.7261	13.9006	13.78
BioEM	3	13.7367	.10599	.06119	13.4734	14.0000	13.64
Total	6	13.7750	.08216	.03354	13.6888	13.8612	13.64

Descriptives

ปริมาณเชื้ออาหาร	
	Maximum
Bio	13.85
BioEM	13.85
Total	13.85

ANOVA

ปริมาณเชื้ออาหาร					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.009	1	.009	1.414	.300
Within Groups	.025	4	.006		
Total	.034	5			

2.4 ปริมาณแคลเซียม (Ca)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ปริมาณแคลเซียม							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
BR	3	.1667	.03786	.02186	.0726	.2607	.14
BREM	3	.1467	.02517	.01453	.0842	.2092	.12
Total	6	.1567	.03077	.01256	.1244	.1890	.12

Descriptives

ปริมาณแคลเซียม	
	Maximum
BR	.21
BREM	.17
Total	.21

ANOVA

ปริมาณแคลเซียม					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	1	.001	.581	.489
Within Groups	.004	4	.001		
Total	.005	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ปริมาณแคลเซียม							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
FS	3	.1233	.03512	.02028	.0361	.2106	.09
FSEM	3	.1433	.00577	.00333	.1290	.1577	.14
Total	6	.1333	.02503	.01022	.1071	.1596	.09

Descriptives

ปริมาณแคลเซียม	
	Maximum
FS	.16
FSEM	.15
Total	.16

ANOVA

ปริมาณแคลเซียม					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	1	.001	.947	.386
Within Groups	.003	4	.001		
Total	.003	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ปริมาณแคลเซียม							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
Bio	3	.1533	.04509	.02603	.0413	.2653	.11
BioEM	3	.2167	.07234	.04177	.0370	.3964	.17
Total	6	.1850	.06411	.02617	.1177	.2523	.11

Descriptives

ปริมาณแคลเซียม	
	Maximum
Bio	.20
BioEM	.30
Total	.30

ANOVA

ปริมาณแคลเซียม					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.006	1	.006	1.656	.268
Within Groups	.015	4	.004		
Total	.021	5			

2.5 ปริมาณฟอสฟอรัส (P)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ปริมาณฟอสฟอรัส							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
BR	3	1.5400	.06557	.03786	1.3771	1.7029	1.48
BREM	3	1.6267	.17954	.10366	1.1807	2.0727	1.49
Total	6	1.5833	.12987	.05302	1.4470	1.7196	1.48

Descriptives

ปริมาณฟอสฟอรัส	
	Maximum
BR	1.61
BREM	1.83
Total	1.83

ANOVA

ปริมาณฟอสฟอรัส					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.011	1	.011	.617	.476
Within Groups	.073	4	.018		
Total	.084	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ปริมาณฟอสฟอรัส							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
FS	3	1.5000	.19313	.11150	1.0202	1.9798	1.33
FSEM	3	1.7467	.30501	.17610	.9890	2.5044	1.44
Total	6	1.6233	.26530	.10831	1.3449	1.9018	1.33

Descriptives

ปริมาณฟอสฟอรัส	
	Maximum
FS	1.71
FSEM	2.05
Total	2.05

ANOVA

ปริมาณฟอสฟอรัส					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.091	1	.091	1.401	.302
Within Groups	.261	4	.065		
Total	.352	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ปริมาณฟอสฟอรัส							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
Bio	3	2.0900	.61539	.35529	.5613	3.6187	1.38
BioEM	3	2.8367	.50013	.28875	1.5943	4.0791	2.33
Total	6	2.4633	.64714	.26419	1.7842	3.1425	1.38

Descriptives

ปริมาณฟอสฟอรัส	
	Maximum
Bio	2.47
BioEM	3.33
Total	3.33

ANOVA

ปริมาณฟอสฟอรัส					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.836	1	.836	2.660	.178
Within Groups	1.258	4	.314		
Total	2.094	5			

2.6 ปริมาณโพแทสเซียม (K)

ชุดทดลองที่ 1

Descriptives

ปริมาณโพแทสเซียม							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
BR	3	.2400	.01000	.00577	.2152	.2648	.23
BREM	3	.2833	.02517	.01453	.2208	.3458	.26
Total	6	.2617	.02927	.01195	.2310	.2924	.23

Descriptives

ปริมาณโพแทสเซียม	
	Maximum
BR	.25
BREM	.31
Total	.31

ANOVA

ปริมาณโพแทสเซียม					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.003	1	.003	7.682	.050
Within Groups	.001	4	.000		
Total	.004	5			

ชุดทดลองที่ 2

Descriptives

ปริมาณโพแทสเซียม

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
FS	3	.2300	.03000	.01732	.1555	.3045	.20
FSEM	3	.2567	.00577	.00333	.2423	.2710	.25
Total	6	.2433	.02422	.00989	.2179	.2688	.20

Descriptives

ปริมาณโพแทสเซียม

	Maximum
FS	.26
FSEM	.26
Total	.26

ANOVA

ปริมาณโพแทสเซียม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	1	.001	2.286	.205
Within Groups	.002	4	.000		
Total	.003	5			

ชุดทดลองที่ 3

Descriptives

ปริมาณโพแทสเซียม

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
Bio	3	.1967	.03512	.02028	.1094	.2839	.16
BioEM	3	.3467	.03512	.02028	.2594	.4339	.31
Total	6	.2717	.08796	.03591	.1794	.3640	.16

Descriptives

ปริมาณโพแทสเซียม

	Maximum
Bio	.23
BioEM	.38
Total	.38

ANOVA

ปริมาณโพแทสเซียม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.034	1	.034	27.365	.006
Within Groups	.005	4	.001		
Total	.039	5			

3. การประเมินความสามารถในการลดค่ามลสารจากน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังการเพาะเลี้ยง
ແທນແດງ 21 วัน

3.1 ค่า pH

3.1.1 BR

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.369 ^a	3	.456	273.833	.000
Intercept	734.767	1	734.767	440860.500	.000
น้ำเสีย	.101	1	.101	60.500	.000
จำนวนวัน	1.268	1	1.268	760.500	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	.001	1	.001	.500	.500
Error	.013	8	.002		
Total	736.150	12			
Corrected Total	1.382	11			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .987)

3.1.2 FS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.269 ^a	3	1.090	653.833	.000
Intercept	772.807	1	772.807	463684.500	.000
น้ำเสีย	2.001	1	2.001	1200.500	.000
จำนวนวัน	1.268	1	1.268	760.500	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	.001	1	.001	.500	.500
Error	.013	8	.002		
Total	776.090	12			
Corrected Total	3.283	11			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

3.1.3 Bio

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.342 ^a	3	.114	13.700	.002
Intercept	722.301	1	722.301	86676.100	.000
น้ำเสีย	.021	1	.021	2.500	.153
จำนวนวัน	.301	1	.301	36.100	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	.021	1	.021	2.500	.153
Error	.067	8	.008		
Total	722.710	12			
Corrected Total	.409	11			

a. R Squared = .837 (Adjusted R Squared = .776)

3.2 ค่า Biological Oxygen Demand (BOD)

3.2.1 BR

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	103132.590 ^a	3	34377.530	5901.089	.000
Intercept	317070.030	1	317070.030	54426.783	.000
น้ำเสีย	52748.280	1	52748.280	9054.527	.000
จำนวนวัน	49845.630	1	49845.630	8556.272	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	538.680	1	538.680	92.467	.000
Error	46.605	8	5.826		
Total	420249.225	12			
Corrected Total	103179.195	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = .999)

3.2.2 FS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6077304.00 ^a	3	2025768.000	21253.959	.000
Intercept	6931200.000	1	6931200.000	72720.787	.000
น้ำเสีย	1461612.000	1	1461612.000	15334.946	.000
จำนวนวัน	3564300.000	1	3564300.000	37395.934	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	1051392.000	1	1051392.000	11030.998	.000
Error	762.500	8	95.313		
Total	13009266.50	12			
Corrected Total	6078066.500	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.3.3 Bio

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14680831.0 ^a	3	4893610.329	88395.448	.000
Intercept	27944600.32	1	27944600.32	504775.679	.000
น้ำเสีย	788912.032	1	788912.032	14250.467	.000
จำนวนวัน	12767576.92	1	12767576.92	230626.391	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	1124342.032	1	1124342.032	20309.488	.000
Error	442.883	8	55.360		
Total	42625874.19	12			
Corrected Total	14681273.87	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.3 ค่า Chemical Oxygen Demand (COD)

3.3.1 BR

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1984531.64 ^a	3	661510.547	12190.232	.000
Intercept	1724260.547	1	1724260.547	31774.453	.000
น้ำเสีย	744385.547	1	744385.547	13717.442	.000
จำนวนวัน	755635.547	1	755635.547	13924.755	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	484510.547	1	484510.547	8928.498	.000
Error	434.125	8	54.266		
Total	3709226.313	12			
Corrected Total	1984965.766	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.3.2 FS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2096096.00 ^a	3	698698.667	19774.491	.000
Intercept	5924885.333	1	5924885.333	167685.434	.000
น้ำเสีย	138245.333	1	138245.333	3912.604	.000
จำนวนวัน	1894485.333	1	1894485.333	53617.509	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	63365.333	1	63365.333	1793.358	.000
Error	282.667	8	35.333		
Total	8021264.000	12			
Corrected Total	2096378.667	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.3.3 Bio

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	700413.624 ^a	3	233471.208	3825.192	.000
Intercept	3497180.691	1	3497180.691	57297.806	.000
น้ำเสีย	199400.566	1	199400.566	3266.979	.000
จำนวนวัน	480748.291	1	480748.291	7876.580	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	20264.766	1	20264.766	332.018	.000
Error	488.281	8	61.035		
Total	4198082.597	12			
Corrected Total	700901.905	11			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

3.4 ค่า Suspended Solids (SS)

3.4.1 BR

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า SS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.094 ^a	3	.031	5.736	.022
Intercept	21.870	1	21.870	4000.610	.000
น้ำเสีย	.032	1	.032	5.860	.042
จำนวนวัน	.030	1	.030	5.488	.047
น้ำเสีย * จำนวนวัน	.032	1	.032	5.860	.042
Error	.044	8	.005		
Total	22.008	12			
Corrected Total	.138	11			

a. R Squared = .683 (Adjusted R Squared = .564)

3.4.2 FS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า SS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.971 ^a	3	1.990	1730.860	.000
Intercept	13.568	1	13.568	11798.377	.000
น้ำเสีย	.546	1	.546	474.899	.000
จำนวนวัน	5.280	1	5.280	4591.420	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	.145	1	.145	126.261	.000
Error	.009	8	.001		
Total	19.549	12			
Corrected Total	5.981	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

3.4.3 Bio

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า SS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.327 ^a	3	2.442	316.521	.000
Intercept	35.915	1	35.915	4654.186	.000
น้ำเสีย	.001	1	.001	.069	.799
จำนวนวัน	7.301	1	7.301	946.108	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	.026	1	.026	3.387	.103
Error	.062	8	.008		
Total	43.304	12			
Corrected Total	7.389	11			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .989)

3.5 ค่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

3.5.1 BR

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TKN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8163.389 ^a	3	2721.130	49776.760	.000
Intercept	11517.744	1	11517.744	210690.446	.000
น้ำเสีย	49.086	1	49.086	897.916	.000
จำนวนวัน	7912.008	1	7912.008	144731.855	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	202.294	1	202.294	3700.507	.000
Error	.437	8	.055		
Total	19681.570	12			
Corrected Total	8163.826	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.5.2 FS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TKN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4249.933 ^a	3	1416.644	45883.213	.000
Intercept	7597.817	1	7597.817	246083.138	.000
น้ำเสีย	480.953	1	480.953	15577.438	.000
จำนวนวัน	3297.099	1	3297.099	106788.632	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	471.880	1	471.880	15283.570	.000
Error	.247	8	.031		
Total	11847.997	12			
Corrected Total	4250.180	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.5.3 Bio

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TKN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	67.586 ^a	3	22.529	1764.635	.000
Intercept	332.432	1	332.432	26039.070	.000
น้ำเสีย	48.723	1	48.723	3816.399	.000
จำนวนวัน	17.569	1	17.569	1376.178	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	1.294	1	1.294	101.329	.000
Error	.102	8	.013		
Total	400.120	12			
Corrected Total	67.688	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

3.6 ค่า Total Phosphorus (TP)

3.6.1 BR

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20335.821 ^a	3	6778.607	1136.018	.000
Intercept	30694.979	1	30694.979	5144.130	.000
น้ำเสีย	3283.852	1	3283.852	550.336	.000
จำนวนวัน	15177.719	1	15177.719	2543.613	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	1874.250	1	1874.250	314.103	.000
Error	47.736	8	5.967		
Total	51078.536	12			
Corrected Total	20383.557	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

3.6.2 FS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	84427.685 ^a	3	28142.562	691.200	.000
Intercept	342917.925	1	342917.925	8422.298	.000
น้ำเสีย	7833.119	1	7833.119	192.387	.000
จำนวนวัน	75270.096	1	75270.096	1848.685	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	1324.470	1	1324.470	32.530	.000
Error	325.724	8	40.715		
Total	427671.335	12			
Corrected Total	84753.409	11			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .995)

3.6.3 Bio

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	67949087.2 ^a	3	22649695.74	302920.288	.000
Intercept	93914592.77	1	93914592.77	1256027.268	.000
น้ำเสีย	18084045.67	1	18084045.67	241858.627	.000
จำนวนวัน	32994498.80	1	32994498.80	441273.171	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	16870542.74	1	16870542.74	225629.064	.000
Error	598.169	8	74.771		
Total	161864278.2	12			
Corrected Total	67949685.38	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.7 ค่า Total Potassium (TK)

3.7.1 BR

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38690.425 ^a	3	12896.808	40996.476	.000
Intercept	105686.362	1	105686.362	335956.648	.000
น้ำเสีย	829.338	1	829.338	2636.307	.000
จำนวนวัน	37553.641	1	37553.641	119375.812	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	307.446	1	307.446	977.311	.000
Error	2.517	8	.315		
Total	144379.303	12			
Corrected Total	38692.941	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.7.2 FS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	95588.363 ^a	3	318529.454	84690.129	.000
Intercept	1871739.142	1	1871739.142	497655.167	.000
น้ำเสีย	96730.768	1	96730.768	25718.630	.000
จำนวนวัน	736843.212	1	736843.212	195910.757	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	122014.383	1	122014.383	32440.999	.000
Error	30.089	8	3.761		
Total	2827357.594	12			
Corrected Total	955618.452	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

3.7.3 Bio

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่า TK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	474678.288 ^a	3	158226.096	65997.892	.000
Intercept	1749758.892	1	1749758.892	729844.199	.000
น้ำเสีย	342.401	1	342.401	142.819	.000
จำนวนวัน	465038.441	1	465038.441	193972.787	.000
น้ำเสีย * จำนวนวัน	9297.447	1	9297.447	3878.070	.000
Error	19.180	8	2.397		
Total	2224456.360	12			
Corrected Total	474697.468	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	สมคิด แฉ่งกลาง
วันเกิด	วันอังคาร ที่ 08 เมษายน 2523
สถานที่เกิด	บ้านศรีนิมิต ตำบลดอนใหญ่ อำเภอกง จังหวัดนครราชสีมา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	132 หมู่ 2 บ้านศรีนิมิต ต.ดอนใหญ่ อ.กง จ.นครราชสีมา
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	เจ้าหน้าที่อาวุโสประกันคุณภาพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เบทาโกรเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2566 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเทคโนโลยีชีวภาพและธุรกิจชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2545 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2542 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเมืองคง จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2539 มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเมืองคง จังหวัดนครราชสีมา
ทุนวิจัย	-
ผลงานวิจัย	Seehanat, S., Budtacup, L., Khaengklang, S., and Leelavatcharamas, V. “Growth inhibition of shrimp pathogens by isolated gastrointestinal microflora of Macrobrachium rosenbergii de Man”: Songklanakarin J. Sci. Technol., 2005, 27(Suppl. 1): 265- 274

พูน ปณ ภัโต ชีเว