การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์

Thongphanh Lartdavong

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์

Thongphanh Lartdavong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์

Thongphanh Lartdavong

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.วันทมาส จันทะสินธุ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์
ชื่อผู้เขียน Mr. Thongphanh Lartdavong
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล

บทคัดย่อ

การเลี้ยงสุกรถือว่ามีความสำคัญในประเทศไทยซึ่งพบว่ามีการเลี้ยงอยู่ทั่วประเทศ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติเกิดความเสื่อมโทรมได้ ถ้าไม่ได้รับการบำบัดที่ถูกต้อง วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำ การศึกษาใช้พืชลอยน้ำจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ จอก (*Pistia stratiotes* (L.)) แหนเป็ดใหญ่ *(Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid และ ไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (L.) Wimm) โดยทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1: ศึกษาการเจริญของพืชลอยน้ำในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เหมาะสม โดยทำการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้น 5 10 20 30 และ 40% ผลการทดลองพบว่า พืชทั้ง 3 ชนิด เจริญเติบโตได้ดีในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียไม่เกิน 20% ตอนที่ 2: ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำ โดยพืชถูกเลี้ยงจำนวน 3 ซ้ำในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ระดับความเจือจาง 0 5 10 และ 15% ขนาดภาชนะทดลองบรรจุน้ำ 14 ลิตร น้ำหนักสดพืชเริ่มต้น 5 กรัม หลังจากการทดลอง 14 วัน พบว่า พืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งฟาร์มสุกรได้สูงที่สุด สำหรับการบำบัดค่า COD BOD และ SS ของจอกมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 88.92, 94.70 และ 85.64 แหนเป็ดใหญ่มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 86.37, 92.24 และ 89.99 และประสิทธิภาพการบำบัดของไข่น้ำมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 72.88, 85.20 และ 76.36 ตามลำดับ ในส่วนโภชนะของพืช หลังจากสิ้นสุดการทดลองพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% พืชทั้ง 3 ชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยเฉพาะไข่น้ำสามารถเจริญได้มากที่สุดโดยมีค่าน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 742 และ 1,169.23 ตามลำดับ และพบว่าพืชทั้ง 3 ชนิดเมื่อเลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจะให้คุณค่าทางโภชนะมากกว่าที่ไม่ได้เลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร โดยพบว่า ไข่น้ำมีค่าโภชนะสูงเมื่อเปรียบเทียบกับจอก และแหนเป็ดใหญ่ โดยเฉพาะที่เลี้ยงในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีปริมาณ CP 38.76±0.11%. ดังนั้นสรุปได้ว่าเกษตรกรผู้ที่เลี้ยงสุกรสามารถนำไข่น้ำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในระดับความ

เข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% เนื่องจากความเข้มข้นนี้ทำให้ไข่น้ำเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้ง และยังให้ค่าโภชนะที่สูง โดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ในการทำเป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์ได้อีกด้วย

คำสำคัญ : น้ำเสีย, ฟาร์มสุกร, ประสิทธิภาพ, พืชลอยน้ำ, โภชนะ

Title WASTEWATER TREATMENT FROM SWINE FARM BY USING FLOATING PLANTS AS SUPPLEMENTARY FOR ANIMAL FEED

Author Mr. Thongphanh Lartdavong

Degree Master of Science in Environmental Technology

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Tapana Cheunbarn

ABSTRACT

Swine farming are very important in Thailand that could be found all over the country. Swine wastewater is the main reason for natural water resources degradation If without correct treatment. The objective of this research was to study efficiency of floating plants with swine wastewater treatment and effect of concentration of swine wastewater on weight and nutrition of floating plants. Three types of floating plants were studied; Water lettuce (*Pistia stratiotes* (L.)), Duckweed (*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid, and Wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm). The experiment had 2 parts as follows, Part 1: study the concentration of wastewater that suitable for growing floating plants by cultivating with swine wastewater at concentrations of 5, 10, 20, 30 and 40%. The result showed that all plants were able to grow at concentration less than 20%. Part2: Study the efficiency of floating plants for swine wastewater treatment and the effect of swine wastewater concentration on plants weight and nutrition. The plants were cultivated with 3 replications in swine wastewater at concentrations of 0, 5, 10 and 15% respectively, 14 liters containers and 5 grams of plants fresh weight. After 14 days of experimentation, it was found that swine wastewater treatment of all plants were highest efficiency at 5% concentration by efficiency remove of COD BOD and SS of Water lettuce at 88.92, 94.70 and 85.64%, Duckweed at 86.37, 92.24 and 89.99% and Wolffia at 72.88, 85.20 and 76.36% respectively. For plant nutrition, it was found that after the end of the experiment all plants were able to grow well at 5% wastewater concentration, especially Wolffia with highest increasing in wet weight and dry weight of 742 and

1169.23 percent. All plants that grown in swine wastewater had more nutritional value than those grow in control. It was found that Water eggs have a high nutritional value when compared to Water lettuce and Duckweed ,especially when cultivated at a concentration of 5% wastewater with a CP content of 38.76±0.11%. In conclusion, swine farmers can be used Wolffia to treat swine wastewater at 5% concentration, due to Wolffia have efficiency for treatment swine wastewater and have highest nutrition especially protein was suitable for applied to supplementary for animal feed.

Keywords : Wastewater, Swine farm, Efficiency, Floating plants, Nutrients

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐปน ชื่นบาล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิราภรณ์ ชื่นบาล และอาจารย์ ดร. วันทมาส จันทะสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา คำแนะนำ และได้ชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจนงานวิจัยประสบผลสำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจนตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ดียิ่งขึ้น ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าของฟาร์มสุกร อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียมาใช้ในการทดลอง ขอขอบพระคุณโรงบำบัดน้ำเสีย งานประปา และสุขภิบาล กองสวัสดิการ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลองจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือวิเคราะห์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ตลอดการศึกษาในระยะเวลา 2 ปี ขอขอบพระคุณในน้ำจิตน้ำใจจากรุ่นพี่รุ่นน้องนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ขอขอบพระคุณรัฐบาลไทยโดยเฉพาะกรมความร่วมมือระหว่างประเทศของประเทศไทย (Thailand International cooperation Agency: TICA) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนตลอดการศึกษา

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ซึ่งเป็นผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้ ที่เฝ้าห่วงใยถามไถ่สารทุกข์สุขดิบของการเรียน และส่งเสริมสนับสนุนทั้งทุนทรัพย์ และจิตทรัพย์แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

Thongphanh Lartdavong

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

ตารางภาคผนวก ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มา และความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.4 ขอบเขตการศึกษา 3

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4

2.1 ข้อมูลพื้นฐาน 4

2.2 น้ำเสีย 5

2.3 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร 5

2.4 ระบบบัดนำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ทั่วไป 9

2.5 การบำบัดน้ำเสียแบบใช้ธรรมชาติ 10

2.6 พืชลอยน้ำ 11

2.6.1 จอก 13

2.6.2 แหนเป็ดใหญ่ 14

2.6.3 ไข่น้ำ 15
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช 16
2.8 โภชนะการ และคุณค่าทางอาหารของพืชพื้นบ้านสำหรับอาหารสัตว์ 17
2.8.1 ความสำคัญของอาหารสัตว์ 20
2.8.2 โภชนะที่สัตว์ต้องการ 21
2.9 งานวิจัยเกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 30
3.1 สถานที่ และระยะเวลาการทำวิจัย 30
3.1.1 สถานที่ 30
3.1.2 ระยะเวลาการทำวิจัย 30
3.2 อุปกรณ์การดำเนินการวิจัย 30
3.2.1 อุปกรณ์การทำหลังคาโรงเรือนบำบัดน้ำ 30
3.2.2 อุปกรณ์การบำบัดน้ำ 30
3.2.3 อุปกรณ์การตรวจสอบคุณภาพน้ำ 31
3.2.4 อุปกรณ์การตรวจสอบโภชนาการของพืชลอยน้ำ 32
3.3 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนการทดลอง 32
3.3.1 การเตรียมพืชลอยน้ำ 32
3.3.2 การเตรียมน้ำเสีย 33
3.3.3 การเตรียมบ่อทดลอง 33
3.3.4 การเตรียมโรงเรือน 34
3.4 การทดลอง 34
3.5 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 37
3.6 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์โภชนะของพืชลอยน้ำ 38
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 38

บทที่ 4 ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง 39
4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำ และความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้น 39
4.1.1 การเจริญเติบโตของจอก 39
4.1.2 การเจริญของแหนเป็ดใหญ่ 42
4.1.3 การเจริญของไข่น้ำ 45
4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำใช้เวลา 14 วัน 48
4.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรไม่ผ่านการบำบัดโดยใช้จอก 48
4.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรไม่ผ่านการบำบัดโดยใช้แหนเป็ดใหญ่ . 54
4.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรไม่ผ่านการบำบัดโดยใช้ไข่น้ำ 59
4.3 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำ 64
4.3.1 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของจอก 64
4.3.2 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของแหนเป็ดใหญ่ 71
4.3.3 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของไข่น้ำ 77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 85
5.1 สรุปผลการวิจัย 85
5.2 ข้อเสนอแนะ 86
บรรณานุกรม 87
ประวัติผู้วิจัย 121

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ที่เลี้ยงสุกร และจำนวนสุกรแบ่งตามเขตปี 2563 4
ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นตามกิจกรรมการก่อให้เกิดน้ำเสียของฟาร์มสุกรแต่ละประเภท 7
ตารางที่ 3 แสดงอัตราการเกิดน้ำเสีย และลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามขนาดฟาร์ม 7
ตารางที่ 4 แสดงอัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสีย และค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง 8
ตารางที่ 5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร 8
ตารางที่ 6 ลักษณะ และหน้าที่ของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ 12
ตารางที่ 7 ชนิดของพืชพันธุ์พื้นบ้านที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ 18
ตารางที่ 8 คุณค่าทางอาหารของพืชพื้นบ้านจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ 19
ตารางที่ 9 ความต้องการโภชนะของสุกร 22
ตารางที่ 10 ความต้องการโภชนะของโคนม 22
ตารางที่ 11 ความต้องการโภชนะของโคขุน 23
ตารางที่ 12 ความต้องการโภชนะของไก่ไข่ 24
ตารางที่ 13 ความต้องการโภชนะของเป็ดเทศ 24
ตารางที่ 14 ความต้องการทางโภชนะของเป็ดเนื้อ 24
ตารางที่ 15 ความต้องการทางโภชนะของเป็ดไข่ 25
ตารางที่ 16 ดัชนีคุณภาพน้ำ และวิธีการวิเคราะห์ 37
ตารางที่ 17 ดัชนีโภชนะของพืชลอยน้ำ และวิธีการวิเคราะห์ 38
ตารางที่ 18 การตรวจสอบคุณสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้น 39
ตารางที่ 19 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อน้ำหนักสดของจอก 41
ตารางที่ 20 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อน้ำหนักสดของแหนเป็ดใหญ่ 44

ตารางที่ 21 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อน้ำหนักสดของไข่น้ำ 47
ตารางที่ 22 การเจริญของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระความเข้มข้นต่างๆ 48
ตารางที่ 23 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนใช้จอกทดลอง 48
ตารางที่ 24 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรหลังสิ้นสุดการทดลองที่ใช้จอกบำบัดในระดับความเข้มข้นต่างกัน 53
ตารางที่ 25 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนใช้แหนเป็ดใหญ่ทดลอง 54
ตารางที่ 26 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรสิ้นสุดการทดลองที่ใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัดในระดับความเข้มข้นต่างกัน 58
ตารางที่ 27 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนใช้ไข่น้ำทดลอง 59
ตารางที่ 28 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรสิ้นสุดการทดลองที่ใช้ไข่น้ำบำบัดในระดับความเข้มข้นต่างกัน 62
ตารางที่ 29 โภชนะของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดเบื้องต้น 64
ตารางที่ 30 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อโภชนะของจอกที่เวลา 14 วัน 70
ตารางที่ 31 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียที่ไม่ผ่านระบบต่อโภชนะแหนเป็ดใหญ่ที่เวลา 14 วัน 76
ตารางที่ 32 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อโภชนะของไข่น้ำที่เวลา 14 วัน 83
ตารางที่ 33 โภชนะของไข่น้ำที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% ในระยะเวลา 14 วัน..... 84

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 น้ำเสียและของเสียจากฟาร์มสุกร 6

ภาพที่ 2 ระบบถังเกรอะ – ถังกรองด้วยอากาศ 9

ภาพที่ 3 ระบบบ่อปรับเสถียร 9

ภาพที่ 4 ระบบโดมคงที่ (Fixed Dome) 10

ภาพที่ 5 ระบบยูเอเอสบี (UASB: Up flow Anaerobic Sludge Blanket) 10

ภาพที่ 6 ระบบคัฟเวอร์ ลากูน (Covered Lagoon) 10

ภาพที่ 7 จอก 13

ภาพที่ 8 แหนเป็ดใหญ่ 14

ภาพที่ 9 ไข่น้ำ 16

ภาพที่ 10 การเก็บพืชลอยน้ำจากแหล่งธรรมชาติ 32

ภาพที่ 11 การปรับสภาพพืชลอยน้ำเพื่อนำทดลอง 33

ภาพที่ 12 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสีย 33

ภาพที่ 13 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรเบื้องต้น 33

ภาพที่ 14 บ่อการทดลอง 34

ภาพที่ 15 โรงเรือนทดลอง 34

ภาพที่ 16 การชั่งพืชลอยน้ำ 36

ภาพที่ 17 การเก็บ และล้างพืชลอยน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 37

ภาพที่ 18 การตาก และอบพืชลอยน้ำ 37

ภาพที่ 19 การเจริญของจอกในน้ำเสียฟาร์มสุกร 7 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 40

ภาพที่ 20 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของจอกในเวลา 7 วันแสดงด้วยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง 41

ภาพที่ 21 การเจริญของแหนเป็ดใหญ่ในน้ำเสียฟาร์มสุกร 7 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 43

ภาพที่ 22 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของแหนเป็ดใหญ่ในเวลา 7 วันแสดงด้วยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง 44
ภาพที่ 23 การเจริญของไข่น้ำในน้ำเสียฟาร์มสุกร 7 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 46
ภาพที่ 24 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของไข่น้ำในเวลา 7 วันแสดงด้วยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง 47
ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพของจอกในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างกัน 53
ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพของแหนเป็ดใหญ่ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างกัน 58
ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพของไข่น้ำในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างกัน 63
ภาพที่ 28 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่พืชลอยน้ำสามารถบำบัดมีประสิทธิภาพได้มากที่สุด 63
ภาพที่ 29 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของจอกที่ได้จากก่อน และหลังทดลอง 65
ภาพที่ 30 จอกที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันในวันแรกของการทดลอง 66
ภาพที่ 31 การเจริญของจอกที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่เวลา 14 วัน ... 66
ภาพที่ 32 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นความชื้น และวัตถุแห้งของจอกที่ได้จากก่อนและหลังทดลอง 67
ภาพที่ 33 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นโภชนะจอกที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง 70
ภาพที่ 34 ความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นน้ำหนักสด และแห้งแหนเป็ดใหญ่ที่ได้จากก่อนและหลัง 72
ภาพที่ 35 แหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันในวันแรกของการทดลอง 72
ภาพที่ 36 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรระดับต่างกันที่เวลา 14 วัน . 73
ภาพที่ 37 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นความชื้น และวัตถุแห้งของแหนเป็ดใหญ่ที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง 74
ภาพที่ 38 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นโภชนะของแหนเป็ดใหญ่ที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง 77
ภาพที่ 40 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของไข่น้ำที่ได้จากก่อนและหลังการทดลอง 78

ภาพที่ 41 ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันในวันแรกของการทดลอง 79
ภาพที่ 42 การเจริญเติบโตของไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับต่างกันที่เวลา 14 วัน 79
ภาพที่ 43 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นความชื้น และวัตถุแห้งของไข่น้ำที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง 80
ภาพที่ 44 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นของไข่น้ำที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง..... 83

ตารางภาคผนวก

ภาคผนวก..... 93
ภาคผนวก (ก) สถานที่ และโรงเรือนการทดลอง..... 95
ภาคผนวก (ข) การเก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร การกรอง การผสมน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ..... 97
ภาคผนวก (ค) การตาก อบ และการบดพืชลอยน้ำ..... 99
ภาคผนวก (ง) น้ำเสียฟาร์มสุกรเริ่มต้น และน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งพืชก่อน และหลังการทดสอบ 7 วัน..... 101
ภาคผนวก (จ) น้ำเสียก่อน และหลังทดลอง 14 วัน..... 103
ภาคผนวก (ฉ) โภชนะของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดก่อน และหลังทดสอบ 14 วัน
การเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด 14 วัน..... 110
ภาคผนวก (ช) การเจริณของพืชลอยน้ำเริ่มต้นทั้ง 3 ชนิด..... 115

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญ

การเลี้ยงสุกรในปัจจุบันได้ขยายเพิ่มขึ้นตามความต้องการของตลาด โดยในปี 2563 จำนวนผู้เลี้ยงสุกรทั่วประเทศไทยมีทั้งหมด 166,591 ราย ซึ่งคิดเป็นจำนวนสุกรทั้งสิ้น 12,038,208 ตัว ซึ่งเมื่อเทียบกับปี 2558 มีจำนวนผู้เลี้ยงสุกรทั้งหมด 191,289 ราย และมี 9,886,897 ตัว โดยคิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นของจำนวนสุกรเท่ากับ 21.76 (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร, 2558, 2563) ทั้งนี้เมื่อความต้องการบริโภคเนื้อสุกรมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในหลายประเทศ จึงทำให้เกษตรผู้ที่เลี้ยงสุกรในประเทศไทย โดยเฉพาะฟาร์มขนาดเล็ก หรือ การเลี้ยงภายในครัวเรือนได้เพิ่มจำนวนขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าเกษตรกรผู้ที่เลี้ยงสุกรในบางพื้นที่ยังไม่มีความสามารถที่จะสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มด้วยตนเองก่อนที่จะปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จึงก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ กลิ่น เป็นต้นอีกทั้งยังมีผลต่อระบบนิเวศทำให้สิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตในน้ำลดลง และตายได้ โดยน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเกิดมาจากมูลสุกร หรือการล้างทำความสะอาดบริเวณคอกภายในโรงเรือนสุกร ซึ่งผู้ที่เลี้ยงสุกรมักจะทำความสะอาดด้วยการฉีดล้างทุกวันทำให้เกิดปริมาณ และลักษณะของน้ำเสียก็มีความสกปรกสูง ซึ่งคุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ วิธีการทำความสะอาดพื้นคอก ประเภทของสุกรที่เลี้ยง และอาหารที่ใช้เลี้ยง เป็นต้น ซึ่งถ้ามีการเก็บกวาดมูลของสุกรออกจากพื้นบริเวณคอกก่อนแล้วจึงใช้น้ำฉีดล้างจะทำให้ความสกปรกของน้ำเสียที่ปล่อยออกมามีความเข้มข้นน้อยกว่าการที่ใช้น้ำฉีดล้างคอกโดยที่ไม่ได้เก็บกวาดมูลสุกรออกก่อน และจะส่งให้น้ำเสียที่ปล่อยออกจากการเลี้ยงสุกรเหล่านั้นมีค่าความสกปรกของ BOD สูง น้ำเสียที่ปล่อยออกจากการเลี้ยงสุกรขุนจะมีค่าความสกปรกของ BOD สูงกว่าการเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ โดยเฉลี่ยค่า BOD อยู่ในช่วง 1,500-3,000 mg/L และค่า COD อาจสูงถึง 7,000-10,000 mg/L ในกรณี หากไม่มีการเก็บกวาดมูลสุกรออกก่อน แต่ถ้ามีการเก็บกวาดออกค่า BOD ก็จะต่ำกว่า 1,000 mg/L (กัญชลี และคณะ, 2546) มูลของสุกรจะประกอบไปด้วยน้ำ 65-85% อินทรีย์วัตถุ 10-204% และอนินทรีย์วัตถุ 10% น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากฟาร์มสุกรนั้นมีทั้งส่วนที่เป็น ก๊าซ ของแข็ง และของเหลว ส่วนที่เป็นของแข็งได้แก่ เยื่อใย หรือส่วนที่ย่อยได้แต่ไม่ถูกดูดซึม และสิ่งที่ปล่อยออกมาจากร่างกายสุกร โดยเฉพาะจากกระบวนการระบบทางเดินอาหาร เช่น เยื่อบุผนังลำไส้ เยื่อเมือก น้ำย่อย แร่ธาตุ แบคทีเรียเหล่านี้ เป็นต้น (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

เมื่อมีการเลี้ยงสุกรในระดับฟาร์ม และระดับครัวเรือนแล้วก็ย่อมก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการเลี้ยงในระดับต่าง ๆ และส่งผลต่อสภาพแวดล้อมในธรรมชาติ ดังนั้นจึงเกิดมีระบบบำบัด

น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้งานอยู่หลายประเภทในปัจจุบัน ซึ่งในแต่ละประเภทจะมีลักษณะ และข้อจำกัดในการใช้งานแตกต่างกัน โดยการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น จำนวนสุกรที่เลี้ยง ความยากง่ายในการเดินระบบ การบำรุงรักษาพื้นที่ และงบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น โดยระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภทคือ ระบบบ่อผึ่ง ระบบบ่อผึ่งแบบผสม ระบบบ่อหมักไร้อากาศร่วมกับบ่อผึ่งแบบผสม และระบบผลิตก๊าซชีวภาพร่วมกับบ่อหมักไร้อากาศ (อนุกูน และคณะ, 2554) สำหรับการใช้พืชบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนมากจะบำบัดภายหลังจากที่น้ำผ่านการบำบัดออกจากระบบมาก่อน เพื่อให้พืชได้ใช้สารอาหารที่ยัง หลงเหลือในระบบ และทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ อย่างไรก็ตามพบว่าสามารถใช้พืชลอยน้ำในการบำบัดบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรในระดับขนาดเล็ก หรือ ครัวเรือนที่ไม่มีงบประมาณได้ เนื่องจากจำนวนปริมาณสุกรไม่มาก และยังสามารถเก็บกวาดมูลสุกรออกได้ง่ายทำให้น้ำเสียมีความเข้มข้นไม่สูง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญของพืช ทำให้สามารถลดความเข้มข้นของน้ำเสียได้ในระดับหนึ่งก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

พรรณไม้น้ำ หรือ พืชน้ำมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ โดยเป็นที่หลบภัยของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ และยังเป็นอาหารของสัตว์น้ำ พืชน้ำหลายชนิดก็สามารถนำมาใช้เป็นอาหารของสัตว์อีกด้วย นอกจากมีความสำคัญต่อระบบนิเวศแล้ว ยังมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ โดยการนำพรรณไม้น้ำ หรือ พืชน้ำเหล่านี้ไปทำปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนปุ๋ยเคมี เนื่องจากพืช เหล่านี้มีธาตุอาหารโปรตีน และไนโตรเจนที่หลากหลาย (ดาริกา และสุดสาคร, 2548) ดังนั้นการประยุกต์ใช้พืชน้ำสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจให้กับชุมชนท้องถิ่น หรือ ครัวเรือนได้ โดยเฉพาะพืชลอยน้ำจำพวก ผักตบชวา จอก แหน และไข่น้ำ เนื่องจากพืชดังกล่าว นอกจากจะสามารถลดค่าความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแล้ว ยังสามารถให้คุณค่าโภชนะการทางอาหารของสัตว์ จึงเหมาะสมกับการนำมาพัฒนาเป็นอาหารสัตว์ได้ พร้อมทั้งจะช่วยลดต้นทุนในการซื้ออาหารให้กับผู้ที่เลี้ยงสัตว์ได้อีกด้วย (Sharma *et al.*, 2019) ดังนั้นจึงเลือกเอาพืชลอยน้ำใช้เข้าในการทดลอง โดยเฉพาะ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ เนื่องจากพืชเหล่านี้สามารถลดความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด และมีคุณค่าทางโภชนะที่สามารถนำเป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดจากฟาร์มสุกร
2. เพื่อศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนักและโภชนะของพืชลอยน้ำ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกษตรกรสามารถนำพืชลอยน้ำเหล่านี้ไปช่วยในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรทั้งในระดับครัวเรือน และในระดับฟาร์มสุกรในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อช่วยให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นก่อนจะปล่อยออกสู่ธรรมชาติ

2. เกษตรกรผู้ที่เลี้ยงสุกรขนาดเล็ก หรือ ครัวเรือนที่ไม่มีงบประมาณในการบำบัดน้ำเสียสามารถนำ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ในการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติ

3. ผลผลิตของพืชจากเกษตรกรบำบัดน้ำสามรถนำมาใช้เป็นอาหารเสริมในการเลี้ยงสัตว์ได้ทั้งในรูปแบบแห้ง และสด

4. สามารถลดต้นทุนซื้ออาหารเสริมในการเลี้ยงสัตว์

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ในการทดลองครั้งนี้ ใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ปล่อยออกจากการฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย

2. พืชลอยน้ำที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ 3 ชนิดได้แก่ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ โดยนำมาจากบริเวณแหล่งน้ำธรรมชาติ บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้

3. ระบบการทดลองที่ใช้เป็นการทดลองเลี้ยงแบบบึงประดิษฐ์พืชลอยน้ำ ประกอบด้วย 2 การทดลองดังนี้

1) การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญของพืชลอยน้ำในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้นใช้ระยะเวลาการทดลอง 7 วัน

2) การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และผลระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำใช้ระยะเวลาการทดลอง 14 วัน

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลพื้นฐาน

จำนวนผู้เลี้ยงสุกรทั่วประเทศไทยในปี 2563 มีทั้งหมด 166,591 ราย และมีสุกรทั้งหมด 12,038,208 ตัว โดยมีการแบ่งเขตของจำนวนผู้เลี้ยง และจำนวนสุกรทั้งหมดออกเป็น 9 เขตใน 77 จังหวัด และเขตที่เลี้ยงสุกรมากเป็นอันดับหนึ่งคือเขต 7 มี 3,373,477 ตัว และเขตที่เลี้ยงน้อยที่สุดคือเขต 9 มีจำนวน 216,687 ตัว ส่วนเขตภาคเหนือจัดอยู่ในอันดับที่ห้า ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ที่เลี้ยงสุกร และจำนวนสุกรแบ่งตามเขตปี 2563

ลำดับ	หน่วยงาน	สุกร	
		เกษตรกร (ราย)	จำนวน (ตัว)
	รวมยอด	**166,591**	**12,038,208**
1	ปศุสัตว์เขต 7	8,210	3,373,477
2	ปศุสัตว์เขต 2	2,702	1,803,548
3	ปศุสัตว์เขต 8	18,338	1,277,019
4	ปศุสัตว์เขต 6	23,779	1,198,667
5	ปศุสัตว์เขต 5	41,747	1,166,012
6	ปศุสัตว์เขต 3	39,545	1,152,740
7	ปศุสัตว์เขต 4	26,786	1,001,326
8	ปศุสัตว์เขต 1	3,833	848,732
9	ปศุสัตว์เขต 9	1,651	216,687

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร (2563)

โดยในปี 2563 พบว่าจัดเรียงตามจังหวัดที่เลี้ยงสุกรมากสุดคือ จังหวัดราชบุรี มีจำนวน สุกรทั้งสิ้น 2,150,630 ตัว รองลงมาได้แก่จังหวัดชลบุรี มีจำนวนสุกรทั้งสิ้น 521,388 ตัว ส่วนจังหวัดที่เลี้ยงสุกรน้อยที่สุดคือ จังหวัดนนทบุรี มีจำนวนสุกรทั้งสิ้น 2 ตัว นอกจากนั้นยังมีจังหวัดที่ไม่มีการเลี้ยงสุกรเลยคือจังหวัดสมุทรสาคร สำหรับภาคเหนือของประเทศไทยที่เลี้ยงสุกรในปศุสัตว์เขต 5 มีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร 41,747 ราย และมีสุกร 1,166,012 ตัว(ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร, 2563)

2.2 น้ำเสีย

น้ำเสียหมายถึง น้ำซึ่งผ่านกระบวนการที่ใช้งานมาแล้ว โดยครัวเรือน ชุมชนโรงงานอุตสาหกรรม การเกษตร หรือ การใช้งานในประเภทอื่นๆ สิ่งที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียเป็นสารต่างๆ มาจากวัตถุดิบ และผลิตผลที่เกิดขึ้น ทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการที่ใช้งานมาแล้วมีคุณภาพต่ำลง และเน่าเสีย แต่ถ้าหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติแล้วจะเกิดการปนเปื้อนทำให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสียถึงระดับทำให้แหล่งน้ำนั้นไม่สามารถนำมาอุปโภค หรือ บริโภคใช้ได้อีก (จุฬาภรณ์, 2551) เสียแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) เป็นน้ำเสียเกิดจากกิจกรรมต่างๆในการดำลงชีวิตประจำวัน และการประกอบอาชีพของประชาชนในชุมชน บ้านพักอาศัย อาคาร ร้านค้า อู่รถ ตลาด โรงพยาบาล โรงแรม สำนักงาน เป็นต้น สิ่งที่ปนเปื้อนมาในน้ำเสียนี้จะประกอบด้วย เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก คาบน้ำมัน อุจจาระ และปัสสาวะ ซึ่งความสกปรกเหล่านี้ส่วนใหญ่ ในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ

(2) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) เป็นน้ำเสียเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท ได้แก่ น้ำเสียจากกระบวการผลิต ล้างวัตถุดิบ ล้างเครื่องจักร น้ำหล่อเย็น และทำความสะอาดโรงงาน คุณสมบัติน้ำเสียนั้นมีความต่างกันตามแต่ประเภท ขนาด และกิจจกรรม โดยรวมน้ำเสียเหล่านี้ส่วนมากจะมีสิ่งสกปรกอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น อินทรีย์ เคมีสาร และโลหะเป็นต้น

(3) เสียจากน้ำเสียเกษตรกรรม (Wastewater) เป็นน้ำเสียเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ทางการเกษตร น้ำเสียเหล่านี้อาจแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทน้ำเสียเกิดจากเกษตรกรรมที่เกิดกับที่โดยเฉพาะจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ต่างๆ เช่น ฟาร์มสุกร ฟาร์มโคนม-โคเนื้อ ฟาร์มไก่ ฟาร์มปลา และฟาร์มเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น และประเภทจุดกำเนิดของน้ำเสียที่ไม่แน่นอน เช่นการเพราะปลูกในพื้นที่มีการการใช้สารเคมี ใช้น้ำ ใช้ปุ๋ยต่างๆ สิ่งสกปรกเจือปนอยู่ทั้งนี้ในรูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย โดยจะพบสารอาหารจำพวก ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน โพแทสเซียม และสารพิษอื่นๆ ในปริมาณที่สูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมในการเลี้ยงสัตว์ พบความสกปรกของสารอินทรีย์ส่วนมาก (วิโรจน์ และคณะ, 2548)

2.3 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำนั้น พบว่า ส่วนหนึ่งเป็นเพราะฟาร์มสุกรบางส่วนมักจะระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง โดยน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ส่วนแรกเกิดจากการให้อาหารของสุกรภายในโรงเรือน หรือ คอกเลี้ยง โดยอาหารที่ให้ในรางอาหาร ส่วนหนึ่งจะตกหล่นลงพื้นในเวลาที่ให้ และอีกส่วนหนึ่งก็จะมาจากสุกรมีการแก่งแย่งกันกินอาหารในราง ทำให้อาหารกระเด็น หรือ พุ่งกระจาย

ออกมาจากรางอาหาร ส่วนที่ 2 เกิดจากน้ำที่สุกรกิน และน้ำสำหรับแช่อาบภายในคอก โดยน้ำส่วนที่สุกรไม่ได้กินเข้าไปก็จะมีการทับถม หรือ หมักหมมอยู่ภายในคอกทำให้เกิดมีการเน่าเหม็น ส่วนที่ 3 ของการเกิดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนี้มาจากการขับถ่ายของสุกรในแต่ละวัน และส่วนสุดท้ายของการเกิดน้ำเสียฟาร์มสุกรจะเกิดจากการล้างทำความสะอาดคอก และโรงเรือนสุกร และจากการระบายความร้อนให้กับสุกรด้วยการฉีดพ่นโดยระบบน้ำหยด ทั้งหมดเหล่านี้ทำให้เกิดมีปริมาณน้ำเสียที่มีความเข้มข้นจากฟาร์มสุกรของเกษตรกรที่เลี้ยงทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ซึ่งหากน้ำเสียเหล่านี้มีการปล่อยออกสู่แหล่งธรรมชาติ โดยไม่มีการบำบัดเป็นปริมาณมากอาจทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถรองรับความสกปรกเหล่านั้นได้ ฟาร์มบางฟาร์มอาจจะมีบ่อเก็บกักแต่ก็ยังมีการไหลล้นออกได้โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน หรือ บางครั้งน้ำฝนก็ชะล้างน้ำเสียที่ถูกระบายทิ้งบนพื้นที่ว่างเปล่าสู่แหล่งน้ำหรือ พื้นที่ภายนอกฟาร์มได้ นอกจากน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มแล้วยังมีน้ำเสียที่มาจากการชะล้างขวดยาที่ใช้ในการรักษา และน้ำยาที่ใช้ทำความสะอาดคอกอีกด้วยโดยตัวอย่างน้ำเสีย และที่มาของเสียจากฟาร์มสุกรแสดงในภาพที่ 1 (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ภาพที่ 1 น้ำเสียและของเสียจากฟาร์มสุกร
ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2556)

ปริมาณ และลักษณะของน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ประเภทของสุกรที่เลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือ สุกรอนุบาล กิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย เช่น กระบวนการ หรือ ขั้นตอนการเลี้ยง และการจัดการแต่ละส่วนเริ่มแต่วันแรกของการเลี้ยงสุกร จนกระทั่งส่วนที่กลายเป็นน้ำทิ้งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ ปริมาณ และลักษณะน้ำเสียยังขึ้นกับพฤติกรรมในการจัดการฟาร์มของเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรอีกด้วย เช่น กรณีการเก็บกวาดมูลก่อนการฉีดล้างคอกจะทำให้ปริมาณน้ำเสีย และความสกปรกของน้ำเสียน้อยกว่ากรณีไม่มีการเก็บกวาดมูลออกก่อน ซึ่งปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นตามกิจกรรมการก่อให้เกิดน้ำเสียของสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ สุกรขุน สุกรอนุบาลแล้วแสดงให้เห็นว่าสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นมากทุกกิจกรรม (สุนีย์ และคณะ, 2553) ข้อมูลปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ แสดงในตารางที่ 2

อัตราการเกิดน้ำเสีย และลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามขนาดฟาร์ม แสดงให้เห็นว่าฟาร์มขนาดเล็กส่งผลให้เกิดอัตราน้ำเสียมากกว่าขนาดของฟาร์มขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ส่วนลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสีย เช่น BOD COD SS และ TKN มีค่าสูงเกือบทุกค่าในฟาร์มขนาดใหญ่ ขนาดของฟาร์มสุกรที่ใหญ่ยกเว้นค่าของ ฟอสฟอรัส P ทั้งหมดที่มีค่าต่ำกว่าค่าอื่นๆ ดังตารางที่ 3 (สุนีย์ และคณะ, 2544)

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นตามกิจกรรมการก่อให้เกิดน้ำเสียของฟาร์มสุกรแต่ละประเภท

กิจกรรม	ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (วัน/ตัว/ลูกบาศก์เมตร)		
	พ่อ-แม่พันธุ์	สกรขุน	สุกรอนุบาล
การล้างคอก/โรงเรือน	0.038	0.012	0.011
การระบายความร้อนให้สุกร/ส้วมน้ำ	0.026	0.012	0.009
รวม	0.064	0.024	0.02

ที่มา: สุนีย์ และคณะ (2544)

ตารางที่ 3 แสดงอัตราการเกิดน้ำเสีย และลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามขนาดฟาร์ม

ขนาดฟาร์มสุกร	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
		ค่าบีโอดี	ค่าซีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	ทีเคเอ็น	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
ขนาดใหญ่	10	3,000	7,000	4,800	540	8
ขนาดกลาง	15	2,500	6,800	3,000	540	9.5
ขนาดเล็ก	20	1,500	4,000	2,000	400	17

ที่มา: สุนีย์ และคณะ (2544)

จากการสำรวจข้อมูลอัตราการใช้น้ำ และอัตราการเกิดน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรพบว่า สุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธ์มีการใช้น้ำ และอัตราการเกิดน้ำเสียโดยเฉลี่ยต่อตัวสุกรในรอบวันมากที่สุด รองลงมาคือ สุกรขุน และสุกรอนุบาล ตามลำดับ สำหรับค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูป BOD พบว่า สุกรขุนก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูป BOD รองลงมาคือ สุกรอนุบาล และสุกรพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ตารางที่ 4 แสดงอัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสีย และค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง

ประเภทสุกร	อัตราการใช้ น้ำ (ลิตร/ตัว/วัน)	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	ค่าความสกปรกของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร) ค่าบีโอดี	ค่าซีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	ทีเคเอ็น
สุกรพ่อ-แม่พันธุ์	92	64	800	1,700	900	350
สุกรขุน	48	24	3,500	7,400	4,700	700
สุกรอนุบาล	32	20	2,500	5,400	3,000	350

ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2556)

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรของผู้ที่ประกอบการเลี้ยงสุกรไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงสุกรประเภท ก (การเลี้ยงสุกรทั้งพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ และลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์เกินกว่า 600 หน่วย) การเลี้ยงสุกรประเภท ข (การเลี้ยงสุกรมีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 60 หน่วย แต่ไม่เกิน 600 หน่วย) และการเลี้ยงสุกรประเภท ค (การเลี้ยงสุกรมีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 6 หน่วย แต่ไม่เกิน 60 หน่วย) ผู้ที่เลี้ยงสุกร ก่อนที่จะปล่อยน้ำจากกิจกรรมของตนเองก็ต้องให้คุณภาพน้ำที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต้องให้พารามิเตอร์ pH BOD COD SS TKN ของน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษที่ได้อนุญาตปล่อยน้ำเสียออกจากฟาร์มสุกรเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร

พารามิเตอร์	หน่วย	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ประเภท ก (ฟาร์มขนาดใหญ่)	ประเภท ข และ ค (ฟาร์มขนาดกลางและขนาดเล็ก)
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5 - 9.0	5.5-9.0
บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัม/ลิตร	60	100
ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัม/ลิตร	300	400
ของแข็งแขวนลอย (SS)	มิลลิกรัม/ลิตร	150	200
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	มิลลิกรัม/ลิตร	120	200

ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2556)

2.4 ระบบบัดนำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ทั่วไป

ระบบบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่นำมาประยุกต์ใช้ในฟาร์มสุกรที่เหมาะสมมีหลายระบบด้วยกันแต่ระบบที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไปในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

(1) ประเภทที่ไม่มีการผลิตก๊าซชีวภาพ หรือ มีแต่ผลิตได้น้อยในประเภทนี้จะประกอบด้วยระบบถังเกรอะ – ถังกรองด้วยอากาศ และบ่อปรับเสถียรเหล่านี้เป็นต้น ระบบถังเกรอะ – ถังกรองด้วยอากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดเล็ก และขนาดกลาง ระบบนี้สร้างง่าย ใช้พื้นที่น้อย ประหยัดงบประมาณ มีการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการอุดตัน ระบบนี้บำบัดใช้กระบวนการทางกายภาพ และทางชีวภาพร่วมกัน โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Bacteria) เพื่อเปลี่ยนความสกปรกของน้ำให้กลายเป็นตะกอน และก๊าซชีวภาพช่วยให้น้ำที่ผ่านระบบนี้มีคุณภาพดีขึ้นระบบนี้ไม่เหมาะสมกับฟาร์มขนาดใหญ่ (ภาพที่ 2) ส่วนระบบบ่อปรับเสถียรเป็นการสร้างที่ไม่ซับซ้อน ไม่ยุ่งยากต่อการดูแลรักษาระบบ แต่ใช้พื้นที่ในการสร้างบ่อมาก และสร้างให้ห่างไกลจากชุมชนเนื่องจากมีกลิ่นในระบบนี้ประกอบ บ่อหมัก บ่อกึ่งหมักและบ่อบ่มต่อกัน (ภาพที่ 3)

ภาพที่ 2 ระบบถังเกรอะ – ถังกรองด้วยอากาศ

ภาพที่ 3 ระบบบ่อปรับเสถียร

(2) ประเภทที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยระบบโดมคงที่ (Fixed Dome) ระบบคัฟเวอร์ ลากูน (Covered Lagoon) และระบบยูเอเอสบี (UASB) ระบบโดมคงที่ (Fixed Dome) หรือยอดโดม เป็นการบำบัดแบบกระบวนการทางชีวภาพที่ไม่ใช้อากาศมีการประยุกต์ใช้ในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก และขนาดกลางเป็นอย่างมากอีกระบบหนึ่ง (ภาพที่ 4) ระบบ (UASB: Up flow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง และขนาด

ใหญ่ ระบบนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายจุลินทรีย์หลายประเภทได้หลายหน้าที่ ทำให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพในแต่ละบ่อหมัก (ภาพที่ 5) ส่วนระบบคัฟเวอร์ ลากูน (Covered Lagoon) ระบบนี้เป็นการผลิตก๊าซโดยได้พัฒนามาจากบ่อหมักที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Pond) เป็นบ่อปิดที่ปิดคลุมบ่อด้วยพลาสติก HDEP โดยมีการคลุมบ่อแบบเฉพาะส่วน และคลุมทั้งบ่อ (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 4 ระบบโดมคงที่ (Fixed Dome)

ภาพที่ 5 ระบบยูเอเอสบี (UASB: Up flow Anaerobic Sludge Blanket)

ภาพที่ 6 ระบบคัฟเวอร์ ลากูน (Covered Lagoon)
ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2556)

2.5 การบำบัดน้ำเสียแบบใช้ธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ โดยจะอาศัยหลักการธรรมชาติที่เป็นกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพที่มีอยู่ในดิน น้ำ พืช และจุลชีพเพื่อช่วยในการปรับสภาพของน้ำเสียให้กลายเป็นน้ำที่มีสารที่ปนเปื้อนลดน้อยลง โดยไม่มีการใช้เครื่องจักรกล จึงเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้า แต่ต้องอาศัยเทคนิคการบริหารจัดการพื้นที่ในการบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมาก และต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาตินี้ประกอบ

ด้วยกัน 3 วิธีได้แก่ วิธีบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดิน (land treatment systems) วิธีบึงประดิษฐ์ (constructed wetland systems) และวิธีพืชลอยน้ำ (floating aquatic plant treatment systems)

วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดิน (land treatment systems) เป็นวิธีการปล่อยน้ำเสียลง บริเวณบนพื้นเกษตรกรรม หรือ พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่ได้ใช้ในกิจกรรมใด ๆ ทั้งสิ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย แต่จะต้องใช้พื้นที่อย่างมากในการบำบัด การใช้วิธีนี้ต้องได้คำนึงด้วยว่าในน้ำเสียมีสารพิษปะปน หรือไม่ เนื่องจากว่าอาจจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย และถ้าเป็นพืชที่จะนำมารับประทานเป็นอาหาร อาจมีการปนเปื้อนของสารพิษเหล่านั้นสะสมในพืชผลที่เก็บเกี่ยวออกมา

วิธีบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ หรือ ระบบที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland systems) คือเป็นวิธีการที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าในบึง ซึ่งสร้างขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียโดยตรง บึงประดิษฐ์จะมีความลึกน้อยกว่า 0.6 เมตร โดยมีพืชน้ำ ซึ่งมีรากอยู่ใต้ดินเจริญเติบโตภายในบึง ซึ่งรากของพืชเหล่านั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้กับแบคทีเรียเกาะได้ และทำหน้าที่เป็นตัวกรอง และตัวดูดซับสารที่ปนเปื้อนต่าง ๆ มากับน้ำเสีย นอกนี้ยังเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่น้ำ และใบของพืชเพื่อช่วยป้องกันยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยทำหน้าที่กั้นแสงแดดไม่ให้ส่องลงไปพื้นน้ำ

วิธีบำบัดน้ำเสียแบบพืชลอยน้ำ (floating aquatic plant treatment systems) วิธีนี้คล้ายคลึงกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน ส่วนที่แตกต่างกันนั้นคือ พืชที่ใช้ในการบำบัดในระบบนี้เป็นพืชจำพวก ผักตบชวา และ แหน โดยความลึกของบ่อลึกมากว่า คือ 50-180 เซนติเมตร น้ำเสียที่จะเข้าไปบำบัดด้วยวิธีนี้จะต้องได้ผ่านการตกตะกอน และการเติมอากาศในระยะเวลาสั้นมาก่อนแล้ว เพื่อให้บ่อบำบัดมีปริมาณออกซิเจนตลอดเวลา และเพื่อป้องกันกลิ่นเหม็น แมลงต่าง ๆ ที่จะมาตอม เมื่อน้ำเสียที่ปล่อยลงไปในบ่อไหลผ่านรากพืชลอยน้ำ ซึ่งมีแบคทีเรียเกาะอยู่บนรากก็จะทำให้เกิดการบำบัดน้ำเสียขึ้น (Kadlec, R.H. & Knight R.L., 1996 อ้างโดย ขนิษฐา, 2556)

2.6 พืชลอยน้ำ

พืชลอยน้ำหลายชนิด (floating plants) เป็นกลุ่มพรรณไม้น้ำที่มีการเจริญเติบโต และปรับตัวลอยอาศัยอยู่ในบริเวณผิวน้ำ โดยมีโครงสร้างพิเศษในส่วนต่าง ๆ ที่ช่วยให้สามารถลอยน้ำได้ เช่น มีก้านใบ หรือ ส่วนใบโป่งพอง ลำต้นกลวงเป็นข้อปล้อง ลำต้นแตกแขนงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว หรือ มีรากห้อยอยู่ใต้ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างมีลักษณะคล้ายโฟมที่ลอยน้ำได้ (พิพิธภัณธรรมมชาติ, มปป) พรรณไม้ในกลุ่มนี้ส่วนของลำต้น ใบ และดอกเจริญเติบโตอยู่เหนือผิวน้ำ มีช่องว่างเซลล์กว้างทำให้อากาศเข้าไปแทรกอยู่ได้มากช่วยให้ลอยน้ำได้ดี ผิวใบของพรรณไม้ลอยน้ำส่วนใหญ่จะมีสาร

คิวตินเคลือบอยู่ทำให้ไม่เปียก และป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากใบ ปากใบมักพบเฉพาะด้านบนของใบเท่านั้น (ขนิษฐา, 2556)

การใช้พืชเพื่อมาปรับปรุงคุณภาพน้ำ สามารถเลือกตามลักษณะหน้าที่ หรือ ความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ลักษณะ และหน้าที่ของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ชนิดพืช	ลักษณะทั่วไปของพืช	หน้าที่ของพืช
พืชลอยน้ำ	โครงสร้างของใบ และรากติดกัน โดยมีโครงสร้างของใบ และลำต้นลอยอยู่เหนือผิวน้ำ หรือหน้าผิวน้ำ เคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำ	ทำหน้าที่ในการดูดซับธาตุอาหาร ให้ร่มเงา ปิดกั้นแสงแดดไม่ให้ผ่านลงไปในพื้นท้องน้ำ เพื่อเป็นการชะลอการเจริญเติบโตของสาหร่าย และช่วยในการกระจายออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ
พืชจมน้ำ	โครงสร้างใบ และลำต้นลอยอยู่ระหว่างผิวดินด้านล่างของพื้นที่ชุ่มน้ำกับผิวน้ำด้านบน	โครงสร้างของใบ และรากเป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ และช่วยในการเคลื่อนย้ายแก๊ส หรือ นำเอาออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ
พืชโผล่พ้นน้ำ	มีโครงสร้างของรากอยู่ด้านล่าง และลำต้นอยู่เหนือผิวหน้าน้ำ สัมผัสอากาศโดยตรงเป็นพืชที่ทนต่อสภาวะน้ำท่วมขังได้ดี	ลักษณะโครงสร้างใบ และลำต้นที่อยู่เหนือผิวน้ำ พืชช่วยในการกระจายการไหลของน้ำ และลดความเร็วของน้ำ เป็นการกรองสารแขวนลอยได้ดี พร้อมทั้งมีหน้าที่ในการปิดกั้นแสงไม่ให้ส่องผ่านลงในพื้นท้องของน้ำได้ เท่ากับเป็นการชะลอการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ที่มา: U.S. EPA, 1988 อ้างโดย ขนิษฐา, (2556)

พืชจะช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซึมจำพวกธาตุอาหาร โลหะหนัก และสารอื่นๆ ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตโดยผ่านทางระบบรากเข้าสู่ลำต้น นอกจากนี้รากพืชยังเป็นส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสียคือ ทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และมีการเคลื่อน ย้ายแก๊สต่างๆ รวมถึงออกซิเจนจากกาบใบลงสู่ระบบราก เกิดสภาพออกซิเจนเป็นฟิล์มบางๆ หรือ ดินที่เกาะอยู่ตามบริเวณรากพืช (Rhizosphere) รอบๆ ราก ทำให้จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในน้ำ ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น นอกจากนี้ก้าน หรือ ลำต้นที่อยู่ในน้ำเป็นตัวกลางในการกรองดูดซับตะกอน และของแข็งที่แขวนลอยในอยู่ในน้ำ (Hammer, 2020)

2.6.1 จอก

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pistia stratiotes* L.

ชื่อสามัญ Water lettuce

ชื่อวงศ์ Araceae

ลักษณะทั่วไป เป็นพรรณไม้ลอยน้ำที่มีใบเจริญขยายตัวออกเป็นกอคล้ายกับดอกไม้ ลักษณะของใบสวยงามอวบน้ำ ขยายพันธุ์โดยใช้ไหลยื่นออกไปงอกเป็นต้นใหม่ หรือ แตกเป็นหน่ออ่อนตามซอกใบอยู่ในอุณหภูมิน้ำระหว่าง 20-28 องศาเซลเซียส และค่าพีเอช ระหว่าง 6.5-7.2 (จูอะดี, 2548) มีอายุหลายปี ลำต้นจะเป็นกอ มีไหลเพื่อช่วยในการขยายพันธุ์ มีรากแตกเป็นกระจุก ลักษณะของใบเป็นใบเดี่ยว รูปไข่ยาว 10-20 เซนติเมตร กว้าง 10 เซนติเมตร (Cook *et al.,* 1974) 2-15 เซนติเมตร ดอกเป็นช่อตั้งขนาดเล็กยาว 1.2-1.5 เซนติเมตร ดอกย่อยเป็นดอกแยกเพศอยู่บนช่อดอกเดียวกัน โดยจะมีดอกเพศผู้อยู่ด้านบนจะมีเกสรเพศผู้ 2-8 อัน และมีเกสรเพศเมียเพียงรังไข่ 1 อัน ส่วนผลเป็นผลสด ขนาดเล็กสีเขียวมีหลายเมล็ด (ชิดชนก, 2559)

การกระจายพันธุ์ พบทั่วไปในเขตร้อนจะลอยอยู่ตามน้ำนิ่ง หรือ น้ำไหลช้าๆ ตามคลอง หรือ บึงน้ำจืด ชอบแสงแดดจัด

ประโยชน์ของจอก

1. สามารถทำเป็นปุ๋ยหมัก

2. เป็นยาสมุนไพร ใช้รักษาโรค และอาการต่างๆ เช่น เป็นยาระบายทางผิวหนัง แก้หัด แก้ไอ แก้บิด แก้วัณโรค ขับลม ขับเมหะ ขับเหงื่อ ขับพิษไข้ ฟอกเลือด เป็นต้น

3. สามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์

4. เป็นไม้ประดับในการจัดอ่างปลา หรือ สระน้ำ

ความเป็นพิษ ทำให้เกิดอาการคันระคายเคือง (ชิดชนก, 2559)

ภาพที่ 7 จอก

2.6.2 แหนเป็ดใหญ่

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid

ชื่อสามัญ Large duckweed

ชื่อวงศ์ Lemnaceae

ลักษณะทั่วไป แหน เป็นพืชลอยน้ำขนาดเล็ก เจริญเติบโต และแพร่พันธุ์ได้ดีในน้ำที่ไม่ไหล หรือ น้ำนิ่ง เช่น หนอง บึง หรือ สระน้ำทั่วไปที่มีธาตุอาหารเพียงพอ และอินทรียวัตถุอุดมสมบูรณ์ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำค่อนข้างเป็นกลาง (มนัสนันท์, 2561) เป็นพืชลอยน้ำลักษณะเป็นแผ่นใบเล็ก ๆ ที่ผิวน้ำ มีรากเป็นเส้นเดี่ยว 7-16 เส้น ใบอาจอยู่เดี่ยว ๆ หรือ เชื่อมกันเป็นกระจุก 2-5 ใบสีเขียวเป็น มัน ด้านล่างมักเป็นสีเขียวน้ำตาลแดงรูปไตรูปกลม หรือ รูปไข่ กว้าง 2-8 มิลลิเมตร ยาว 3-12 มิลลิเมตร. มีเส้นใบ 7-12 เส้น ดอกออกเป็นช่อเกิดในถุงด้านข้างประกอบด้วยดอกเพศผู้ 2 ดอก ดอกเพศเมีย 1 ดอก มี ขนาดเล็กมาก ผลเล็กมีสัน หรือ ปีก (ฐานข้อมูลพรรณไม้ องค์การสวนพฤกษศาสตร์, มปป)

การกระจายพันธุ์ พบทั่วไปในเขตร้อนจะลอยอยู่ตามน้ำนิ่ง ตามคลอง หรือ บึงน้ำจืด

ประโยชน์ของแหนเป็ดใหญ่

1. สามารถทำเป็นปุ๋ยหมัก
2. สามารถนำมาเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่น เป็ด ไก่ ห่าน ปลา นกกระทา และสุกร
3. เป็นไม้ประดับในการจัดอ่างปลา

ภาพที่ 8 แหนเป็ดใหญ่

2.6.3 ไข่น้ำ

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Wolffia arrhiza* (L) Wimm

ชื่อสามัญ Wolffia

ชื่อวงศ์ Lemnaceae

เขตภาคกลางเรียกไข่น้ำ ภาคเหนือจะเรียกไข่แหน และไข่ผำจะมีชื่อเรียกทางภาคอีสาน

ลักษณะทั่วไป เป็นพืชชั้นสูง พืชล้มลุก ใบเลี้ยงเดี่ยว เป็นพืชน้ำสีเขียวชนิดหนึ่งมีขนาดเล็ก ลักษณะเป็นเม็ด กลม หรือ กลมรีลอยอยู่ บนผิวน้ำ พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นน้ำนิ่ง หรือ น้ำขัง เช่น บ่อ ห้วย บึง หนองน้ำ และแอ่งน้ำขนาดเล็ก ไข่น้ำจัดเป็นพืชมีดอก ไม่มีราก เส้นผ่านศูนย์กลางต้นประมาณ 0.5-1.5mm (ศิริภาวี และคณะ, 2545) ปัจจุบันไข่น้ำที่พบในสกุล Wolffia มีทั้งหมด 16 ชนิด ดังนี้ W. *angusta, W. arrhiza, W. borealis, W. brasiliensis, W. columbiana, W. denticulate, W. gladiata, W. globosa, W. hyaline, W. lingulata, W. microsvopica, W. netropica, W. oblonga, W. reanda, W. rotunda* และ *W. welwitschii* แต่ที่ปรากฏในประเทศไทยมี 2 ชนิด ได้แก่ *W. arrhiza (L.) Wimm*. และ *W. globosa (L.) Wimm.* (อารักษ์, 2560)

การกระจายพันธุ์ พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ เจริญเติบโตรวดเร็ว และพบมากในช่วงฤดูร้อน อยู่ตามประเทศต่าง ๆ ในทวีปยุโรป แอฟริกากลาง และตอนใต้ของเกาะมาดากัสการ์ ทวีปเอเชียโดยเฉพาะในแถบเขตศูนย์สูตรใต้ตะวันออกเฉียงใต้ และยังพบในประเทศบราซิล อินโดนีเซีย และออสเตรเลีย

ประโยชน์ของไข่น้ำ

1. เป็นอาหาร เช่น แกงไข่น้ำ ไข่เจียวไข่น้ำ ผัด ยำไข่ผำ เป็นส่วนประกอบของขนม เป็นต้น

2. นำมาสกัดคลอโรฟิลล์สำหรับเป็นอาหารเสริม หรือหรือสกัดให้อยู่ในรูปของสารโซเดียมคอปเปอร์คลอโรฟิลลิน

3. เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่น สุกร เป็ด และกระบือ ช่วยให้เกษตรลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอาหารสัตว์ได้

4. เป็นอาหารเสริมตามธรรมชาติในบ่อเลี้ยงปลากินพืช เช่น ปลานิล ปลาตะเพียน และปลาไน เป็นต้น เพื่อเป็นอาหารเสริมตามธรรมชาติให้แก่ปลา ทั้งนี้จะปล่อยในปริมาณน้อย และต้องควบคุมปริมาณไม่ให้แพร่กระจายปกคลุมผิวน้ำ

5. ใช้บำบัดน้ำเสียสำหรับลดค่าความสกปรกของน้ำ โดยเฉพาะสารไนโตรเจนที่เป็นแร่ธาตุสำคัญของการเติบโต และโลหะหนักชนิดต่างๆ (**พืชผักเกษตรไทย**, 2016)

ภาพที่ 9 ไข่น้ำ

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชมี 2 ปัจจัยคือ ปัจจัยภายใน หรือ ปัจจัยด้านพันธุกรรม และ ปัจจัยภายนอก หรือ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมปัจจัย เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช ซึ่งปัจจัยภายนอก หรือ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ดิน แร่ธาตุอาหาร น้ำ แสง อุณหภูมิ ปัจจัยภายนอก หรือ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่สำคัญมีดังนี้

1) แร่ธาตุอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหาร สารอินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจ ซึ่งแร่ธาตุอาหารแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แคลเซียม และกำมะถัน ส่วนกลุ่มธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยได้แก่ แมงกานีส ทองแดง โมลิบดีมัน สังกะสี คลอรีน และโบรอน

2) น้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 75-90% มีผลต่อกระบวนการพื้นฐานในการเจริญเติบโต เพิ่มขนาดของเซลล์ ลำเลียงธาตุอาหาร และแร่ธาตุอาหาร เป็นตัวรักษารูปร่างของเซลล์ รูปร่างสรีรวิทยา และกระบวนการทางชีวเคมี เช่นการสังเคราะห์แสง การหายใจ และการดูดธาตุอาหาร

3) แสงมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสง เป็นกระบวนการพื้นฐานได้พลังงาน และเป็นแหล่งของสารประกอบขั้นต้นในการนำมาสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ในพืช เป็นปัจจัยควบคุม การเจริญเติบโต และยังควบคุมกระบวนการพื้นฐานการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ ซึ่งมีการตอบสนองของพืชต่อแสงจะตอบในแง่ต่าง ๆ เช่น ความเข้มของแสง คุณภาพของแสง ช่วงแสง ดังนี้

- ความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก พื้นที่หนึ่งๆ ความเข้มของแสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ถึงเที่ยงวัน หรือ ในช่วงบ่ายต่อจากนั้นจึงค่อย ๆ ลดลงจนกว่าดวงอาทิตย์ตก ความเข้มของแสงที่เหมาะสมโดยจะมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เหมาะสมที่ประกอบเข้านำด้วย การสังเคราะห์แสงมีอัตราสูงทำให้ได้อาหารที่จะใช้ต่อการเจริญเติบโตมาก ซึ่งระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดนั้นจะมีความแตกต่างกันไป

เนื่องจากบางชนิดเจริญเติบโตในที่ร่มก็จะต้องการแสงน้อย ส่วนที่เจริญเติบโตในที่กลางแจ้งต้องการแสงมากความเข้มของแสงที่ต่ำมากเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชต่ำ ผลผลิตน้อยเนื่องจากการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงนั้นต้องการพลังงานที่มีปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัว กระตุ้นจึงเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามความเข้มของแสงสูงเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของพืชบางชนิดลดลงส่งผลให้การสังเคราะห์ลดลงไปด้วยทำให้อุณหภูมิของใบเพิ่มสูงขึ้น และมีการคลายน้ำเพิ่มสูงขึ้น ถ้าอัตราการดูดน้ำของรากไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำ จะทำให้พืชก็จะแสดงอาการขาดน้ำ อุณหภูมิของใบก็สูงขึ้น เป็นผลให้ระบบเอนไซม์ทำการลดลงในการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้ง

• คุณภาพของแสง หรือ ความยาวคลื่นแสง มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความยาวคลื่นมีหลายระดับ แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 225-2,500 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร =10-9 เมตร) แสงที่ดวงอาทิตย์ส่องลงมาบนโลกนั้นมีความยาวคลื่นระหว่าง 310-2,300 นาโนเมตร แสงที่ส่องลงมาบนโลกมี 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ คลื่นแสงที่มองไม่เห็น ได้แก่ แสงเหนือม่วงช่วงความยาวของคลื่นต่ำกว่า 390 นาโนเมตรเป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสง อินฟราเรด (infrared) ช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 810 นาโนเมตร คลื่นแสงมองเห็นมีความยาวของคลื่นอยู่ในช่วง 390 นาโนเมตรแต่ละคลื่นมีสีแตกต่างกัน

• ช่วงแสง จะแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืชบางชนิด

4) อุณหภูมิ จะเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิ มีความสำคัญตั้งแต่เริ่มงอกของเมล็ดพันธุ์ การสังเคราะห์แสง การหายใจ การพักตัว ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 30- 35 องศาเซลเซียส (ธนากร, 2562)

2.8 โภชนะการ และคุณค่าทางอาหารของพืชพื้นบ้านสำหรับอาหารสัตว์

โภชนะการคือ สารอาหาร การย่อย และการดูดซึม การนำสารอาหารมาใช้ในกระบวนการทำงานของร่างกาย การขับถ่ายรวมถึงมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการมีสภาพร่างกายแข็งแรงที่ดี (ธิษณา และคณะ, 2555) โภชนาหลายอย่างที่มีความจำเป็นสำหรับสัตว์ คุณค่าทางอาหารของพืชที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ จะมีคุณค่าที่แตกต่างกันถึงแม่ว่าเป็นพืชพันธุ์เดียวกันก็ตามแต่ปลูกในดินที่ต่างกันก็จะทำให้คุณค่าทางอาหารแตกต่างกันไป แร่ธาตุบางชนิดถ้าสัตว์ได้รับเป็นจำนวนน้อยก็เป็นประโยชนต่อสัตว์ แต่ถ้าได้รับมากเกินไปก็เป็นอันตรายต่อสัตว์ อาหารที่ไม่ดีนั้นเนื่องมาจากมีบางอย่างมากเกินไป หรือ มีน้อยเกินไปไม่เกิดการสมดุลตามความต้องการของสัตว์ ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ ควรจะทำให้เกิดความสมดุลตามความต้องการของสัตว์นั้น ๆ (ทองเลียน, 2551)

สำหรับพืชผักพื้นบ้านหลายชนิดที่นิยมนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด (ตาราง 7) โดยนิยมมาใช้เลี้ยงสัตว์แทนรำ หรือ เพื่อเป็นอาหารเสริมเพื่อลดต้นทุนในการซื้ออาหารสำเร็จรูป พืชพันธุ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นทั่วไปได้ โดยไม่ต้องเสียเงินซื้อ เนื่องจากมีมากตลอดทั้งปี หรือ อย่างน้อยที่สุดในฤดูฝนที่อาหารตามธรรมชาติขาดแคลน ในขณะที่รำหายาก และมีราคาแพงอีกด้วย (พงษ์ชาญ, 2556)

ตารางที่ 7 ชนิดของพืชพันธุ์พื้นบ้านที่ใช้เป็นอาหารสัตว์

ลำดับ	พืช	ส่วนที่ใช้	วิธีให้กิน	ฤดูที่มีมาก
1	กระถิน	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ฤดูฝน
2	กล้วย	ต้น หยวก ใบ	ดิบ หรือ ต้ม	ตลอดปี
3	กะทกรก	ส่วนสีเขียว	ดิบ หรือ ต้ม	ตลอดปี
4	จอก	ส่วนสีเขียว หรือ ทั้งต้น	ดิบ หรือ ต้ม	ตลอดปี
5	จอกหูหนู	ส่วนสีเขียว หรือ ทั้งต้น	ดิบ หรือ ต้ม	ตลอดปี
6	ต้อยติ่ง	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ฤดูฝน
7	เถาคัน	ใบ	ต้ม	ตลอดปี
8	บอน	ส่วนสีเขียว	ต้ม	ตลอดปี
9	ปอกะเจา	ใบ	ดิบ หรือ ต้ม	ตลอดปี
10	ผักโขม	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ตลอดปี
11	ผักโขมหนาม	ส่วนสีเขียว	ดิบ หรือ ต้ม	ตลอดปี
12	ผักโขมหิน	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ตลอดปี
13	ผักตบชวา	ส่วนอ่อน	ดิบ	ตลอดปี
14	ผักบุ้ง	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ตลอดปี
15	ผักเบี้ย	ทั้งต้น	ดิบ	ตลอดปี
16	ผักปราบ	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ตลอดปี
17	ผักปอด แพงพวย	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ตลอดปี
18	ผักเป็ด	ส่วนอ่อน หรือ ทั้งต้น	ดิบ	ตลอดปี
19	ผักเผ็ด	ส่วนอ่อน หรือ ทั้งต้น	ดิบ	ตลอดปี

ตารางที่ 7 (ต่อ) ชนิดของพืชพันธุ์พื้นบ้านที่ใช้เป็นอาหารสัตว์

ลำดับ	พืช	ส่วนที่ใช้	วิธีให้กิน	ฤดูที่มีมาก
20	ผักแว่น	ทั้งต้น	ดิบ	ฤดูฝน
21	สันตะวา	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ฤดูฝน
22	สาหร่ายหางกระรอก	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ฤดูฝน
23	หญ้าขน	ส่วนสีเขียว	ดิบ	ตลอดปี
24	แหน	ทั้งต้น	ดิบ	ตลอดปี
25	แหนแดง	ทั้งต้น	ดิบ	ฤดูฝน

ที่มา: พงษ์ชาญ (2556)

สำหรับพืชพื้นบ้านที่นำมาให้สัตว์กินนั้นมีหลากหลายชนิด และมีการนำเอาส่วนต่างๆ ของพืชมาใช้เป็นอาหารสัตว์ที่แตกต่างกันโดยในอดีตพบว่า เมื่อเชื้อเพลิงยังหาได้ง่ายเกษตรกรมักต้มให้สัตว์กิน แต่ใน ปัจจุบันเมื่อเชื้อเพลิงหายาก และมีราคาแพง แม้แต่ในเขตชนบทเกษตรกรมักเอาพืชสดให้สัตว์กิน จึงนิยมนำพืชพื้นบ้านเหล่านี้มาเลี้ยงสัตว์แทนรำข้าวได้ เนื่องจากพืชพื้นบ้านหลายชนิดมีปริมาณโปรตีนอยู่ในปริมาณสูงกว่า 15% ของวัตถุแห้งที่นับว่ามีอยู่ในเกณฑ์ที่สูง มากได้แก่ ใบปอกะเจา (37.13%) เถาและใบกระทกรก (30.74%) ต้นและใบผักแว่น (27.76) ใบกระถิน (26.28) เถา และใบผักบุ้ง (24.14%) ผักโขมหนาม (20.98%) (ตารางที่ 8) อย่างไรก็ตามพบว่า ถ้าพืชมีเยื่อใยในปริมาณที่สูงเกินกว่า 20% ของวัตถุแห้งอาจทำให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากพืชเหล่านี้ได้ต่ำหากให้สัตว์กินสด ดังนั้นเกษตรกรต้องระวังในการนำมาให้สัตว์กินสด

ตารางที่ 8 คุณค่าทางอาหารของพืชพื้นบ้านจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์

ลำดับ	ชนิดพืช	ส่วนของพืช	DM	CP	CF	Fat	Ash
1	กระถิน	ใบสด	10.73	26.28	18.31	5.55	8.83
		ต้น	6.14	2.47	43.11	0.61	24.19
2	กล้วย	ใบ	18.83	12.73	27.91	12.26	9.87
		ผลสุก	32.75	5.55	2.32	1.06	3.93
3	กะทกรก	เถาและใบ	18.68	30.74	17.45	4.78	10.6
4	จอก	ทั้งต้น	9.44	17.64	18.95	5.29	19.09

ตารางที่ 8 (ต่อ) คุณค่าทางอาหารของพืชพื้นบ้านจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์

ลำดับ	ชนิดพืช	ส่วนของพืช	DM	CP	CF	Fat	Ash
5	จอกหูหนู	ทั้งต้น	7.37	11.41	26.43	1.83	24.54
6	ต้อยติ่ง	ต้นอ่อน	12.42	15.51	15.86	9.61	19.29
7	เถาคัน	เถาและใบ	12.07	17.36	21.17	2.36	14.83
8	บอน	ต้นและใบ	11.13	13.09	19.41	3.71	13.13
9	ปอกะเจา	ใบ	18.28	37.13	14.21	5.14	14.16
10	ผักโขมหนาม	ทั้งต้น	15.57	20.98	20.35	3.42	17.28
11	ผักตบชวา	ต้นและใบ	8.24	13.37	22.29	2.7	17.48
12	ผักบุ้ง	เถาและใบ	14.11	24.14	10.71	6.48	25.87
13	ผักเบี้ย	ต้นและใบ	12.42	19.41	17.37	3.19	24.18
14	ผักปราบ	ทั้งต้น	11.72	18.93	21.97	3.91	15.95
15	ผักปอด	ทั้งต้น	14.37	19.4	19.52	4.53	8.23
16	ผักเป็ด	ทั้งต้น	7.49	15.34	18.28	3.6	17.45
17	ผักแว่น	ต้นและใบ	25.28	27.76	18.95	8.54	9.85
18	สันตะวา	ทั้งต้น	4.89	18.82	22.96	1.45	29.86
19	สาหร่ายหางกระรอก	ทั้งต้น	4.73	18.28	22.96	2.02	29.26
20	หญ้าขน	ส่วนสีเขียว	28.47	8.45	25.32	1.61	8.38
21	แหน	ทั้งต้น	4.21	31.93	10.15	13.16	24.92
22	แหนแดง	ทั้งต้น	6.15	20.21	15.53	2.8	16.39

ที่มา: พงษ์ชาญ (2556)

2.8.1 ความสำคัญของอาหารสัตว์

อาหารสัตว์มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตอย่างปกติ การให้ผลผลิต การเจริญเติบโต และการสร้างภูมิต้านทานโรคของสัตว์ ตลอดถึงความเกี่ยวข้องทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อความสำเร็จของการเลี้ยงสัตว์

2.8.2 โภชนะที่สัตว์ต้องการ

สำหรับวัตถุดิบอาหารสัตว์ หรือ อาหารสัตว์ทุกชนิดได้ประกอบไปด้วยสารอาหาร หรือโภชนะที่สำคัญที่ได้มีการแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ โปรตีน พลังงาน แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำ

1) โปรตีน จะนำไปประกอบเป็นส่วนของ หนัง เนื้อ ขน เลือด ฮอร์โมน และภูมิต้านทานต่างๆ ในร่างกายของสัตว์ ดังนั้น สัตว์ที่อยู่ในช่วงกำลังเจริญเติบโตก็จะมีความต้องการโปรตีนที่มากกว่าสัตว์ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว สำหรับอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ ผลผลิตที่มาจากสัตว์และพืช เช่น ปลาป่น กากถั่วเหลือง ใบกระถิน และอื่นๆ ถ้าสัตว์ขาดโปรตีนจะส่งผลต่อสัตว์ เช่น ถ้าสัตว์ที่ยังมีขนาดเล็กจะทำให้การเจริญเติบโตช้า และอาจจะหยุดชะงักการเจริญเติบโต แต่ถ้าสัตว์ที่โตแล้วความทนทานต่อโรคลดลง ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารลดลง และอาจส่งผลทำให้สัตว์เกิดการขาดอาหารตามมาด้วย แต่ถ้าให้โปรตีนมากเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลือง และเพิ่มต้นทุนในการผลิต เนื่องจากโปรตีนมีราคาแพง

2) พลังงานได้มาจากสารอาหารจำพวกที่เป็นแป้ง หรือ คาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าวโพด มันสำปะลัง ปลายข้าว และอื่นๆ นอกนั้นไขมัน และโปรตีนก็เป็นแหล่งของพลังงานด้วย ซึ่งไขมันจะให้พลังงานได้มากกว่าโภชนะอื่นประมาณ 2.25 เท่า สัตว์ทุกตัวต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีวิตและสร้างผลผลิต ในแต่ละวันจะต้องให้สัตว์ได้รับพลังงานที่เพียงพอ ถ้าให้พลังงานน้อยเกินไปจะส่งผลเสียหลายประการ เช่น ถ้าสัตว์ยังเล็กก็จะเติบโตช้า แต่ถ้าสัตว์ที่โตแล้วตัวจะผอม และสุขภาพเสื่อมโทรม ผลผลิตจะลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นต้น แต่ถ้าให้พลังงานมากเกินไปก็จะทำให้สัตว์อ้วน และมีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น สมรรถภาพในการสืบพันธุ์ลดลง

3) แร่ธาตุ แร่ธาตุที่สำคัญมีอยู่ประมาณ 15 ชนิด ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

- แร่ธาตุที่ต้องการมาก ได้แก่ แคลเซียม และฟอสฟอรัส (ซึ่ง 2 แร่ธาตุนี้เป็นส่วนประกอบของกระดูก และฟันรวมถึงน้ำนม) โซเดียม คลอรีน แมกนีเซียม กำมะถัน และโพแทสเซียม

- แร่ธาตุที่ต้องการน้อย ได้แก่ สังกะสี เหล็ก ทองแดง แมงกานีส โคบอลท์ ไอโอดีน ซีลีเนียม และโมลิบดิมัน

4) วิตามิน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ วิตาตามินที่ละลายไขมันส่วนนี้มักจะอยู่ในพืชสด ได้แก่ เอ ดี อี และเค วิตามินที่ละลายในน้ำ ได้แก่ วิตามินบีต่างๆ

5) น้ำ สำหรับสัตว์ทุกชนิดเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ สัตว์มีความต้องการน้ำมากเนื่องจากภายในร่างกายสัตว์ประกอบด้วยน้ำถึงร้อยละ 60-70 ของน้ำหนักตัว

2.8.2 ความต้องการอาหารของสัตว์

แต่ละวัน สัตว์ต้องการอาหารที่ให้โภชนะต่างๆหลายชนิด เมื่อสัตว์ที่กินอาหารเข้าไปแล้ว อาหารก็จะถูกย่อยเป็นหน่วยโภชนะที่เล็กที่สุดแล้วค่อยดูดซึมเข้าสู่ร่างกายสัตว์ จากนั้นจึงนำไปใช้ประโยชน์ตามความต้องการต่างๆ ของสัตว์ ดังนั้น สัตว์มีความต้องการอาหารตามการใช้ประโยชน์ดังนี้

1) ความต้องการโภชนะเพื่อดำรงชีพ ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การหายใจ การกินอาหาร

2) ความต้องการโภชนะเพื่อการให้ผลผลิต ได้แก่ ความต้องการโภชนะเพื่อการเจริญเติบโต ความต้องการโภชนะเพื่อการสืบพันธุ์ ความต้องการโภชนะเพื่อการให้กำลังงาน ความต้องการโภชนะเพื่อการให้ผลผลิตต่างๆ (กองอาหารสัตว์, 2552)

สัตว์ทุกชนิดมีความต้องการโภชนะที่ต่างกัน และต้องการต่างกันตามระยะเวลาแสดงในตาราง 9-15 ดังนี้

ตารางที่ 9 ความต้องการโภชนะของสุกร

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	**สุกรหย่านม (นน.15-25 Kg)**	**สุกรหย่านม (นน.25-50 Kg)**	**สุกรหย่านม (นน.50-90 Kg)**
โปรตีน (%)	18	16	14
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (KCal/Kg)	3.25	3.15	3.15
แคลเซียม (%)	0.7	0.6	0.6
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.32	0.5	0.05

ที่มา: ดัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ (2552)

ตารางที่ 10 ความต้องการโภชนะของโคนม

ความต้องการโภชนะ	**เพื่อการดำรงชีพ (น้ำหนักตัว)**			**เพื่อการผลิตน้ำนม 1 Kg และมีไขมัน**				**เพื่อเพิ่ม นน 1 ตัว Kg**
	400kg	**450kg**	**500kg**	**3.0%**	**3.5%**	**4.0%**	**4.5%**	
โปรตีน (%)	318	341	364	78	84	90	96	320
โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (kg/วัน)	3.13	3.42	3.07	0.280	0.301	0.322	0.343	2.26

ตารางที่ 10 (ต่อ) ความต้องการโภชนะของโคนม

ความต้องการโภชนะ	เพื่อการดำรงชีพ (น้ำหนักตัว)			เพื่อการผลิตน้ำนม 1 Kg และมีไขมัน				เพื่อเพิ่ม นน 1 ตัว Kg
	400kg	450kg	500kg	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (KCal/Kg)	12.01	13.12	14.2	1.07	1.15	1.24	1.32	8.56
แคลเซียม (%)	16	18	20	2.73	2.97	3.21	3.45	-
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	11	13	14	1.68	1.83	1.98	2.13	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ (2552)

ตารางที่ 11 ความต้องการโภชนะของโคขุน

น้ำหนักตัว (Kg)	น้ำหนักเพิ่ม (kg/วัน)	ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ (% นน.ตัว)	ยอดโภชนะที่ย่อยได้ (kg/วัน)	โปรตีน (g/วัน)	แคลเซียม (g/วัน)	ฟอสฟอรัส (g/วัน)
150	0.75	2.9	2.6	589	21	13
200	1.00	2.8	3.7	690	27	17
250	1.00	2.6	4.3	760	28	19
300	1.00	2.5	5.0	819	28	21
350	1.00	2.4	5.6	874	30	21
400	1.00	2.3	6.2	913	31	24
450	1.00	2.3	6.8	952	29	26
500	1.00	2.2	7.4	975	30	27

ที่มา: ดัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ (2552)

ตารางที่ 12 ความต้องการโภชนะของไก่ไข่

อายุ (สัปดาห์)	โปรตีน (%)	พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Kcal//Kg)	แคลเซียม (%)	ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)
1-5	19	2,800	0.9	0.40
6-12	15.00	2,800	0.8	0.35
13-18	13.00	2,850	0.8	0.30
18-21	16.00	2,850	1.8-2.2	0.35
22-45 (ไข่ระยะ 1)	16-17	2,800	3.2-3.5	0.40
46 - ปลด	15-16	2,800	3.5-3.8	0.34

ที่มา: ดัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ (2552)

ตารางที่ 13 ความต้องการโภชนะของเป็ดเทศ

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	เป็ดเทศเล็ก (อายุ 0-3 สัปดาห์)	เป็ดเทศรุ่น (อายุ 3-12 สัปดาห์)	เป็ดเทศใหญ่ (อายุ 12-25 สัปดาห์)
โปรตีน (%)	18	15	14
พลังงาน (Kcal/kg)	3,050	2,900	2,800
แคลเซียม (%)	1.00	1.00	1.00
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.50	0.50	0.50

ที่มา: ดัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ (2552)

ตารางที่ 14 ความต้องการทางโภชนะของเป็ดเนื้อ

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	เป็ดเนื้อระยะแรก (อายุ 0-2 สัปดาห์)	เป็ดเนื้อระยะรุ่น (อายุ 2-4 สัปดาห์)	เป็ดเนื้อระยะขุน (อายุ 4-7 สัปดาห์)
โปรตีน (%)	22	18	16
พลังงาน (Kcal/kg)	3,080	2,900	2,900
แคลเซียม (%)	1.00	0.80	0.80
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.45	0.40	0.35

ที่มา: ดัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ (2552)

ตารางที่ 15 ความต้องการทางโภชนะของเป็ดไข่

ความต้องการโภชนะ ในสูตรอาหาร	เป็ดสาวก่อนไข่ (อายุ 9-20 สัปดาห์)	เป็ดไข่ (อายุ 24-48 สัปดาห์)	เป็ดไข่ (อายุ 48-72 สัปดาห์)
โปรตีน (%)	15	18	16
พลังงาน (Kcal/kg)	2,600	2,700	2,700
แคลเซียม (%)	1.10	2.50	2.10
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.42	0.50	0.42

ที่มา: ดัดแปลงจาก กองอาหารสัตว์ (2552)

2.9 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

ณัฐสิมา และคณะ (2554) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้แหนแดง โดยเลือกศึกษา ที่ฟาร์มสุกรขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียประมาณวันละ 103,250 L ผลการศึกษาพบว่า การใช้แหนแดงในการบำบัดน้ำเสียมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำเสียแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งผลการใช้แหนแดงบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรสามารถลดค่าความสกปรกของน้ำในรูป BOD TKN NO_3^- และ PO_4^{-3} ได้ประมาณ 6-98% ในช่วงระยะเวลา 3 สัปดาห์ และปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสะสมในแหนแดงมีปริมาณมากกว่าแหนแดงก่อนการบำบัดสามารถนำไปเป็นปุ๋ยทางเกษตร แหนสดทดแทนปุ๋ยเคมี และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินนำไปสู่การพัฒนาที่ยังยืนต่อไป

บุญทิวา และคณะ (2556) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้ไข่น้ำเพื่อเป็นอาหาร เสริมเลี้ยงสัตว์โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 20 40 60 80 และ100% ในระยะเวลาบำบัดแตกต่างกันคือ 5 10 15 และ 20 วัน ไข่น้ำ 20 กรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 20% ในระยะเวลาบำบัด 20 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 96.45±0.02 และ 90.30±0.10% ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 20 และ 40% ในระยะเวลาบำบัด 20 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเกือบ 100% ส่วนไข่น้ำที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 40% ในระยะเวลาบำบัด 15 วัน มีปริมาณชีวมวลเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 104.83±0.02 กรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตร และไข่น้ำที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 40% ในระยะเวลาบำบัด 20 วัน มีปริมาณไนโตรเจนรวม และโปรตีนเฉลี่ยมากสุดเท่ากับ 6.00±0.07 และ37.53±0.53% เมื่อเปรียบเทียบปริมาณชีวมวลไนโตรเจนรวม และโปรตีน

ของไข่น้ำพบว่า น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 40% ในระยะเวลาบำบัด 15 วัน เป็นความเข้มข้น และระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้ไข่น้ำเพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์

นุชนันท์ (2558) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียฟาร์มสุกร ของแหนแดง โดยทำการศึกษาเป็น 2 ระยะคือ 1) ประสิทธิภาพการบำบัดมลสารในน้ำเสียที่มีอัตรา ความเข้มข้นของน้ำเสียแตกต่างกันร้อยละ 25 52 75 และ100 2) ประสิทธิภาพการลดธาตุอาหารในน้ำเสียฟาร์มสุกรของแหนแดงในระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่มีความเข้มข้นร้อยละ 25 หรือ มีอัตราภาระบีโอดี 0.19-0.28 กรัม/ตารางเมตร/วัน ทำการเก็บเกี่ยว และเติมแหนใหม่ลงในระบบแตกต่างกันผล การศึกษาพบว่า การบำบัดมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของ BOD5 COD TSS TKN TP และ TCB ลดลงใน 3 สัปดาห์เท่ากับ (-20.69)-91.54 (-147.61)-41.66 (-26.66)-83.82 (-18.40)-94.95 (293.35)-28.76 และ80.83-99.77 และยังพบว่าระบบบำบัดที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 25 และ 50 เท่านั้นสามารถอยู่รอด และเติบโตได้ที่ให้ผลผลิตน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง 275.0-1,740.0 และ 1.0-59.4 กรัม/ตารางเมตร และความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 25 ให้ผลสูงกว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลระยะที 2 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด TKN NH_3-N NO_2-N NO_3-N TP และ PO_4^{-3} ส่วนใหญ่มีค่าลดลงเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ (-26.07)-74.30 38.39-89.40 (-763.27)-99.07 (-125.45)-39.80 (-94.46)-35.29 และ (-83.95)-43.74 ในส่วนนี้ประสิทธิภาพการบำบัด TKN NH_3-N NO_2-N และ PO_4^3 ของแต่ละระบบบำบัดมีแนมโน้มสูงขึ้นในระยะเวลาที่ใช้บำบัดนานขึ้น ทั้งนี้พบว่าระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่เก็บเกี่ยว และเติมแหนใหม่ในระบบทุก 3 สัปดาห์ สามารถบำบัดในโตเจนได้ดี 2 สัปดาห์ สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ดี การให้ปริมาณผลผลิตแหนในการเติม และเก็บเกี่ยวแตกต่างกันทั้ง 3 ช่วงเวลาให้ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในระหว่าง 350.0-2,455.0 และ 6.5-90.5 กรัม/ตารางเมตร/วัน

พันธ์ทิพย์ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยแหนแดง *(Azolla microphylla)* ในระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำที่มีอัตราส่วนของน้ำเสียร้อยละ 25 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแหนแดงออกจากระบบแตกต่างกัน คือ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD BOD_5 TSS TDS TKN และ TP ของระบบบำบัดในแต่ละสัปดาห์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ (-125.0)-35.4 (-22.2)-60.0 (-502.9)-54.7 (-1.7)-13.7 (-79.5)-51.5 และ (-429.5)-52.0 ทั้งนี้ระบบที่มีการเก็บเกี่ยวแหนแดงออกจากระบบแตกต่างกันก็ตามแต่ประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การเพิ่มผลผลิตของแหนแดงในระบบบำบัดมีค่าต่ำกว่าการเพิ่มผลผลิตของแหนแดงในพื้นที่เลี้ยงที่มีสภาพเหมาะสมตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์ของการดำเนินระบบระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวแหนแดงทุกสัปดาห์ เป็นระบบที่ให้ผลผลิตแหนแดงสดสุทธิสูงที่สุด แต่ก็พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับผลผลิตแหนแดงสดสุทธิ ที่ได้จากระบบที่มีการเก็บเกี่ยวของแหนแดงทุก 2 สัปดาห์

ธานุวัฒน์ (2558) การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักตบชวา และสาหร่ายพุงชะโดในการบำบัดน้ำเสีย จากผลการศึกษาพบว่า พืชทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อการบำบัดอุณหภูมิ ส่วนค่าพีเอช ของสาหร่ายพุงชะโดอยู่ระหว่าง 8.69 ถึง 8.91 พีเอช ของผักตบชวาอยู่ในระหว่าง 7.71 ถึง 8.26 โดยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ของสาหร่ายพุงชะโดสูง กว่าผักตบชวาในทุกระดับ ปริมาณอยู่ระหว่าง 9.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 10.02 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่า COD ของสาหร่ายพุงชะโดต่ำกว่าผักตบชวาในทุกระดับ ปริมาณอยู่ระหว่าง 45.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 48.34 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเฉพาะในระดับปริมาณ 150 กรัม ส่วนค่า TS ของผักตบชวาสามารถบำบัดได้ดีกว่าสาหร่ายพุงชะโดอยู่ระหว่าง 21.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 25.91 มิลลิกรัมต่อลิตร

มณทิพย์ และคณะ (2560) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนคลองระแหงด้วยพืชลอยน้ำได้แก่ผักตบชวา และแพงพวยน้ำ โดยได้ทำการศึกษา 2 ช่วงเวลาในเดือนตุลาคม และ ธันวาคม จากจุดเก็บน้ำทั้งหมด 5 จุด ในการบำบัดน้ำนั้นใช้ระยะเวลาในการวิจัยเป็นเวลา 4 เดือน และพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง pH การชักนำไฟฟ้า ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนทางเคมี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายทั้งหมด น้ำมัน และไขมัน ผลการศึกษา พบว่า คุณภาพน้ำเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด พ.ศ. 2548 แต่ยังมีพารามิเตอร์บางค่าเกินมาตรฐานเพียงเล็กน้อย คือค่าสกปรกในรูปสารอินทรีย์ของเดือนธันวาคมอยู่ที่ 33.9±0.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 40-77.5 และแพงพวยน้ำสามารถบำบัดค่าความขุ่นในน้ำได้ดีโดยสามารถบำบัดได้ร้อยละ 73.8–83.7 ทั้งนี้ พืชลอยน้ำทั้ง 2 ชนิดสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ดี จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ผักตบชวา และแพงพวยน้ำมีความสามารถทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นได้ ซึ่งนับเป็นการบำบัดที่ใช้งบประมาณไม่สูง

Chen *et al.*, (2010) ได้ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่เกิดจากสุกรด้วยผักตบชวา (Eichhornia crassipes) ทั้งพืชสด และแห้งของผักตบชวาถูกนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากสุกรเพื่อลดไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสในถัง facultative ผลการศึกษาพบว่า แบบแห้งสามารถดูดซับต่อฟอสฟอรัสได้ดี อัตราการกำจัดฟอสฟอรัสแตกต่างกันมากตามเวลาสัมผัสระหว่างลำต้น และอิทธิพลร่วมในห้องปฏิบัติการปรากฏว่าลำต้นสามารถลดฟอสฟอรัสด้วยสารละลาย KH_2PO_4 อย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพการดูดซับเมื่ออิ่มตัวอยู่ที่ประมาณ 36% ในเวลาเดียวกัน ลำต้นผักตบชวาในถังกรองช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด NH_3-N ที่อยู่ในรูปแก๊สแอมโมเนียได้ และระบบนี้ช่วยลดพื้นที่การใช้ที่ดินลงอย่างมากเมื่อเทียบกับบ่อบำบัดรักษาเสถียรภาพ การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงวิธีที่เป็นไปได้

ทางเศรษฐกิจในการนำผักตบชวาแห้งมาใช้ในดูดซับฟอสฟอรัส เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากสุกร ระบบนี้ช่วยลดพื้นที่การใช้ที่ดินลงอย่างมากเมื่อเทียบกับบ่อบำบัดรักษาเสถียรภาพ

Sudiarto *et al.,* (2019) ได้ทำการศึกษาการใช้พืชน้ำลอยน้ำเพื่อกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดออกจากน้ำเสียสุกรที่ผ่านการบำบัด และลักษณะชีวมวล การศึกษานี้เป็นการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียสุกรที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes, Limnobium laevigatum* และ *Lemna* sp. วัตถุประสงค์ เพื่อหาปริมาณการผลิตชีวมวล และองค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสของพืชลอยน้ำที่เพาะเลี้ยงในที่น้ำทิ้ง พืชที่ปลูกในน้ำเสียสุกรที่ผ่านการบำบัดแล้ว หรือ วิธีการของ Hoagland ผลการทดลองพบว่า *Pistia stratiotes* สามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วรวมสูงสุดถึง 63.15% นอกจากนี้ผลยังแสดงให้เห็นว่า *Lemna* sp. สามารถกำจัดกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วรวมสูงสุดถึง 36.15% อย่างไรก็ตาม *Lemna* sp. ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก เนื่องจากพืชสามารถเพาะเลี้ยงได้เพียง 13 วัน น้ำทิ้งน่าจะมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโต และการดูดซึมสารอาหารของพืช การศึกษาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติเหล่านี้ *Pistia stratiotes* และ *Eichhornia crassipes* มีความทนทานสูงกว่า *Lemna* sp. ที่ปลูกในน้ำเสียสุกรที่ผ่านการบำบัดแล้ว *Eichhornia crassipes* ผลิตมวลชีวภาพสูงสุดถึง 5.19 กรัมน้ำหนักแห้ง/ตารางเมตร/วัน ปริมาณเซลลูโลส และลิกนิน ในการบำบัดสารละลายตามวิธีการของ Hoagland สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทิ้ง อย่างไรก็ตามขึ้น อยู่กับการวิเคราะห์แบบ independent T-test พบว่าปริมาณเซลลูโลสของพืชที่ปลูกในอาหารต่างกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณเฮมิเซลลูโลสพบว่า *Pistia stratiotes* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในท้ายที่สุดปริมาณลิกนินระหว่าง *Eichhornia crassipes* และ *Lemna* sp. มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) องค์ประกอบทางโภชนา และธาตุอาหารพืชที่มีอยู่รวมทั้งสารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งอาจมีอยู่ในองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช

Sharma *et al.,* (2019) ศักยภาพการผลิตของแหนเป็ดใหญ่ *Spirodela polyrhiza (L.Schleiden)* และการประเมินองค์ประกอบทางชีวเคมี เทคนิคการเพาะเลี้ยงแหนเป็ดใหญ่ *Spirodela polyrhiza (L. Schleiden)* เลี้ยงที่กลางแจ้งในถังมาตรฐาน โดยใช้ปุ๋ยคอกสามชนิด: ปุ๋ยคอกสูตรที่ 1 มูลโค มูลสัตว์ปีก และเค้กน้ำมันมัสตาร์ด ปุ๋ยคอกสูตรที่ 2 ยูเรียโปแตส และ ซุปเปอร์ฟอสเฟตสามเท่า และปุ๋ย คอกที่ 3 ปุ๋ยคอกยูรียโปแตส และซูเปอร์ฟอสเฟตสามเท่า จากผลการศึกษาพบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยปุ๋ยคอก 1 ถูกบันทึกไว้ว่ามีผลผลิตที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ๆ ต่อมาเลือกปุ๋ยคอกสูตรที่ 1 เพื่อทำการเพราะเลี้ยงในบ่อเลี้ยงแหนได้ 2020 ± 150 Kg ha^{-1} $month^{-1}$ น้ำหนักแห้ง โปรตีนรวมของการเพาะเลี้ยงแหนด้วยปุ๋ยคอกสูตรที่ 1 สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การศึกษารายละเอียดกรดอะมิโนแสดงให้เห็นว่ามีกรดอะมิโน

จำเป็น (37.4%) กรดอะมีโนไม่จำเป็น (58.2%) และอะมิโนอิสระ (4.5%) โดยลิวซีน ไอโซลิวซีน และวาลีนเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด 51.4% แหนมีไขมัน 7% และมีกรดแอลฟาไลโนเลนิก (36–37%) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่สำคัญ จากการศึกษาพบว่า คุณค่าทางโภชนะของแหนสามารถใช้เป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ได้

เมื่อมีการเลี้ยงสุกรทำให้เกิดมีน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรที่มีความเข้มข้นสูงมาก งานวิจัยนี้จึงนำใช้ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำในการทดลองบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านระบบบำบัดในครั้งนี้ เนื่องจากพืช ทัง 3 ชิดมีโภชนะที่สูงกว่า ผักตบชวา จอกหูหนู ผักบุ้ง จรึงเหมาะสมที่จะนำพืชเหล่านี้เป็นอาหารเสริมต่อสัตว์ได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ และระยะเวลาการทำวิจัย

3.1.1 สถานที่

(1) สถานที่นำน้ำเสียมาทดลอง ได้แก่ ฟาร์มสุกรสุทัศน์ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

(2) สถานที่ทำการทดลอง ได้แก่ โรงบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

(3) ห้องปฏิบัติการ ได้แก่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2 ระยะเวลาการทำวิจัย

ระยะเวลาการทำวิจัย การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์จะได้เริ่มดำเนินการทดลอง ตุลาคม 2563 เสร็จสิ้นการทดลอง กรกฎาคม 2564

3.2 อุปกรณ์การดำเนินการวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์การทำหลังคาโรงเรือนบำบัดน้ำ

(1) สแลนกรองแสง 50%

(2) ผ้ายางพลาสติกใส

(3) คลิปล็อกโรงเรือน

(4) ลวด

(5) ไม้ใผ่

(6) เชือกฟาง

(7) กาว

(8) สก๊อตเทป

(9) ตะปูคอนกรีต

3.2.2 อุปกรณ์การบำบัดน้ำ

(1) แหนเป็ดใหญ่ (*Spirodela polyrhiza (L.) Schleid*)

(2) จอก (*Pistia stratiotes L.)*

(3) ไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza (L) Wimm*)

(4) น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ไม่ผ่านการบำบัด

(5) น้ำประปาสำหรับทำการเจือจาง

(6) แกลลอน

(7) กะละมังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 เซนติเมตร

(8) กะละมังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43.18 เซนติเมตร

(9) ผ้าโอล่อนแก้ว (ผ้าขาวบาง)

(10) กรวย

(11) กระบอกตวง

(12) บิกเกอร์พลาสติกชนิดมีหู

(13) ตลับเมตร

(14) ไม้บรรทัด

(15) ปากกาเขียนกระจก

(16) เทปกระดาษ

3.2.3 อุปกรณ์การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

(1) ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ 1,000 มล

(2) โถดูดความชื้น (Desiccators)

(3) ถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์

(4) กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ชม

(5) คีมคีบ (Forceps)

(6) เครื่องดูดอากาศ (Section Pump) พร้อมกรวยบุชเนอร์ และ ขวดกรอง

(7) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง 4 ตำแหน่ง

(8) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 103-105°c

(9) หลอด COD ขนาด 20x150 มม

(11) ที่ใส่หลอดทดลอง (Test Tube Rack)

(12) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 150 $\pm$ 2°c

(13) ปิเปตขนาด 1 มล

(14) ปิเปตขนาด 10 มล

(15) ลูกยางปิเปต

(16) บิกเกอร์ขนาด 250 มล

(17) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล

(18) ขวด BOD ขนาด 300 มล

(19) ตู้บ่ม (Incubator) 20 $\pm$ 1°c

(20) ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล

(21) กระบอกตวงขนาด 1,000 มล

(22) เครื่องย่อยสาร

(23) เครื่องกำจัดไอกรด

(24) เครื่องกลั่นสาร

(25) หลอดย่อยขนาด 300 มล

(26) ขวดน้ำกลั่น ขนาด 500 มล

(27) ถุงมือกันร้อน

(28) กระบอกตวงขนาด 100 มล

(29) บิวเรต ขนาด 50 มล พร้อมขาตั้ง

(30) บิกเกอร์ ขนาด 150 มล

(31) กรวยแก้ว

(32) หลอดหยด

(33) เครื่องวัด pH

3.2.4 อุปกรณ์การตรวจสอบโภชนาการของพืชลอยน้ำ

(1) เครื่องย่อยไนโตรเจน
(2) เครื่องกลั่นไนโตรเจน
(3) ขวดชมพู่ ขนาด 250 มล
(4) ขวดน้ำกลั่น
(5) หลอดย่อย
(6) Soxhlet apparatus
(7) Thimble
(8) ตู้อบ
(9) โถอบแห้ง
(10) ขวดแก้วก้นแบนขนาด 250 มิลลิลิตร
(11) สำลี
(12) คีมชนิดจับขวดก้นแบน
(13) แผ่นความร้อน
(14) ขาตั้งพร้อมที่ยึด
(15) เครื่องย่อยหาเยื่อใย
(16) ผ้ากรอง (ผ้าลินินที่มีด้าย 45 เส้นต่อนิ้ว)
(17) Crucible
(18) บิคเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
(20) ขวดกรอง
(21) กรวยกรอง (Buchner funnel)
(22) เครื่องดูดสุญญากาศ
(23) เครื่องอบ
(25) เตาอบแห้ง (Hot air oven)
(26) ขวดชั่ง (Weighing bottle)
(27) โถอบแห้งที่บรรจุสารดูดความชื้น (desiccator and silica gel)
(28) คีม (tong)
(29) เครื่องชั่ง (analytical balance)
(30) ถ้วย หรือ จานกระเบื้อง (Porcelain crucible)
(31) เตาเผา (Muffle furnace)
(32) ตู้ควัน (Fume cupboard)

3.3 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมพืชลอยน้ำ

นำพืชลอยน้ำ 3 ชนิด คือ แหนเป็ดใหญ่ *(Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid) จอก *(Pistia stratiotes* L.*)* และไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L) Wimm) จากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เขตบริเวณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ (ภาพที่ 10) มาเพาะเลี้ยงเพื่อให้เพียงพอต่อการทดลอง โดยเลี้ยงในกะละมังพลาสติกที่บรรจุน้ำประปาที่ปล่อยพักทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 สัปดาห์เพื่อให้พืชลอยน้ำได้ปรับตัวก่อนนำไปทดลอง ภาพที่ 11

ภาพที่ 10 การเก็บพืชลอยน้ำจากแหล่งธรรมชาติ

จอก แหนเป็ดใหญ่ ไข่น้ำ

ภาพที่ 11 การปรับสภาพพืชลอยน้ำเพื่อนำทดลอง

3.3.2 การเตรียมน้ำเสีย

1) นำน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ยังไม่ผ่านระบบบำบัด มากรองผ่านผ้าโอล่อนแก้ว (ผ้าขาวบาง) แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรเบื้องต้นด้วยพารามิเตอร์ดังนี้ pH อุณหภูมิ BOD COD SS และ TKN ภาพที่ 12 และ 13

ภาพที่ 12 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสีย

ภาพที่ 13 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรเบื้องต้น

3.3.3 การเตรียมบ่อทดลอง

บ่อทดลองใช้ภาชนะ 2 ขนาด คือ กะละมังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 เซนติเมตร ลึก 12.7 เซนติเมตร ขนาดบรรจุน้ำ 3 ลิตร จำนวน 15 ใบ โดยใช้ในการทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญของพืชลอยน้ำในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้น และความเข้มข้นในน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้น และกะละมังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร ลึก 15.24 เซนติเมตร ขนาดบรรจุน้ำ 15 ลิตร จำนวน 36 ใบ โดยใช้ในการทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และ

ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำ ภาพที่ 14

ภาพที่ 14 บ่อการทดลอง

3.3.4 การเตรียมโรงเรือน

โรงเรือนที่ใช้ในการทดลอง คลุมหลังคาด้วยผ้ายางพลาสติกใส และสแลนกรองแสง 50% หลังคาทำด้วยไม้ไผ่ ภาพที่ 15

ภาพที่ 15 โรงเรือนทดลอง

3.4 การทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำ และความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้น

1) นำน้ำเสียที่ผ่านการกรองมาทำการเจือจางด้วยน้ำประปา (น้ำประปาที่พักทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดคลอรีน) ให้มีระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5, 10, 20, 30 และ 40% ใช้น้ำเริ่มต้นประมาณ 2 ลิตร โดยการผสมอัตราส่วนการเจือจางน้ำเสียต่อน้ำประปาของแต่ละชุดการทดลองดังนี้

ความเข้มข้น 5% (น้ำเสีย 100 mL : น้ำประปา 1,900 mL)

ความเข้มข้น 10% (น้ำเสีย 200 mL : น้ำประปา 1,800 mL)

ความเข้มข้น 20% (น้ำเสีย 400 mL : น้ำประปา 1,600 mL)

ความเข้มข้น 30% (น้ำเสีย 600 มิ mL : น้ำประปา 1,400 mL)

ความเข้มข้น 40% (น้ำเสีย 800 mL : น้ำประปา 1,200 mL)

2) นำพืชทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมไว้ใส่ในบ่อทดลองที่เตรียมไว้โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 แหนเป็ดใหญ่ ชุดการทดลองที่ 2 จอก และชุดการทดลองที่ 3 ไข่น้ำโดยแต่ละชุดการทดลองใช้น้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40% โดยใช้กะละมังพลาสติกที่บรรจุน้ำตัวอย่าง 2 ลิตร ใส่พืชเริ่มต้น 5 กรัม โดยพืชแต่ละชนิดทำให้สะเด็ดน้ำ 5 นาทีก่อนใส่

3) ศึกษาการเจริญของพืชเป็นเวลา 7 วัน ทำการถ่ายภาพของพืชแต่ละชนิดในแต่ละวัน และสิ้นสุดการทดสอบ 7 วัน ทำการเก็บพืชแต่ละชุดการทดลองนำมาล้างแล้วทำให้สะเด็ดน้ำแล้วชั่งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งโดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อดูการเจริญเติบโตของพืชของพืชลอยน้ำแต่ละชนิด โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{น้ำหนักพืชลอยน้ำที่เพิ่มขึ้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักพืชก่อน - น้ำหนักพืชหลัง}}{\text{น้ำหนักพืชก่อน}} \times 100$$

4) ศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมจำนวน 3 ระดับที่ทำให้พืชแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตที่ดีได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เพื่อนำไปใช้ในการทดลองตอนต่อไป

การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำ

1) การออกแบบการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำเสียสำหรับพืชแต่ละชนิดที่ได้จากการทดลองที่ 1 จำนวน 3 ระดับ ดังนี้

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ โดยแต่ละการทดลองออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 จอก ประกอบด้วย

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม

ชุดที่ 2- 4 ระดับความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่ 1

ชุดการทดลองที่ 2 แหนเป็ดใหญ่ ประกอบด้วย

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม

ชุดที่ 2- 4 ระดับความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่ 1

ชุดการทดลองที่ 3 ไข่น้ำ ประกอบด้วย

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม

ชุดที่ 2- 4 ระดับความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่ 1

นำตัวอย่างพืชลอยน้ำ (ตัวอย่างสด) จำนวน 5 กรัม ที่เตรียมไว้ และใช้กะละมังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร บรรจุน้ำปริมาณน้ำตัวอย่าง 14 ลิตร ทุกการทดลองโดยทำการเจือจางน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกับน้ำประปาที่พักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยตรวจคุณภาพน้ำเสียในแต่ละชุดก่อน และสิ้นสุดการทดลองพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดคุณภาพน้ำ pH อุณหภูมิ SS BOD COD และ TKN ซึ่งสมการการหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และวิธีวิเคราะห์ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (\%)} = \frac{\text{น้ำเสียก่อนบำบัด - น้ำเสียก่อนบำบัด หลังบำบัด}}{\text{น้ำเสียก่อนบำบัด}} \times 100$$

3) ศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อน้ำหนักของพืช โดยเริ่มต้นชั่งน้ำหนักสดพืชลอยน้ำใส่ 5 กรัม ทุก ๆ การทดลอง (ภาพที่ 16) จากนั้นทำการถ่ายภาพในแต่ละวันจนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วเก็บ และนำพืชทั้งหมดไปล้างด้วยน้ำประปา เลือกสิ่งที่เจือปนออกทำให้สะเด็ดน้ำแล้วชั่งน้ำหนักสดหลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งของพืชลอยน้ำ และหาน้ำหนักของพืชลอยน้ำเพิ่มขึ้น (%) ดังสมการ

$$\text{น้ำหนักของพืชลอยน้ำเพิ่มขึ้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของพืชเริ่มต้น - น้ำหนักของพืชสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักของพืชเริ่มต้น}} \times 100$$

ภาพที่ 16 การชั่งพืชลอยน้ำ

ภาพที่ 17 การเก็บ และล้างพืชลอยน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ภาพที่ 18 การตาก และอบพืชลอยน้ำ

4) ศึกษาค่าโภชนะของพืชลอยน้ำโดยการนำพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดก่อนการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 14 วัน โดยอบในอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงแล้วบดให้ละเอียด จากนั้นใส่ถุงพลาสติก แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าโภชนะทางอาหารสัตว์ พารามิเตอร์ที่ตรวจหาได้แก่ ความชื้น (Moisture) วัตถุแห้ง (Dry Meter, DM) แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) โปรตีน (Crude protein, CP) และเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) ทำการวิเคราะห์แบบ Air dry basis

3.5 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

โดยจะทำการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำจากฟาร์มสุกรก่อนการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และพารามิเตอร์สำหรับการทดลองในครั้งนี้แสดงดัง ตารางที่ 16 ดังนี้

ตารางที่ 16 ดัชนีคุณภาพน้ำ และวิธีการวิเคราะห์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
pH	-	ใช้เครื่องวัดรุ่น PCSTestr 35 แบบพกพา
อุณหภูมิ	°C	ใช้เครื่องวัดรุ่น PCSTestr 35 แบบพกพา
COD	mg/L	Closed reflux method
BOD	mg/L	Azide modification method
SS	mg/L	Gravimetric method, dried at 150°C
TKN	mg/L	Kjedahl method

ที่มา: Association (1998)

3.6 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์โภชนะของพืชลอยน้ำ

การวิเคราะห์โภชนะของพืชลอยน้ำ นำตัวอย่าง จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ วิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture) วัตถุแห้ง (DM 100°C) แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) โปรตีน (CP) เยื่อใย (CF) และพลังงาน (GE) โดยส่งให้ทางคณะสัตวศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทำการวิเคราะห์ โดยตรวจวิเคราะห์หาค่าก่อนทดลอง และหลังการทดลอง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์โภชนะ และพารามิเตอร์ที่ใช้เข้าในการทดลองในครั้งนี้แสดงดัง ตารางที่ 17 ดังนี้

ตารางที่ 17 ดัชนีโภชนะของพืชลอยน้ำ และวิธีการวิเคราะห์

ดัชนีโภชนะการของพืชลอยน้ำ	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
น้ำหนักสด (FW)	(g)	Air dry basis
น้ำหนักแห้ง (DW)	(g)	Air dry basis
ความชื้น (Moisture)	(%)	Air dry basis
วัตถุแห้ง (DM)	(%)	Air dry basis
แคลเซียม (Ca)	(%)	Air dry basis
ฟอสฟอรัส (P)	(%)	Air dry basis
โปรตีน (CP)	(%)	Air dry basis
เยื่อใย (CF)	(%)	Air dry basis
พลังงาน (GE)	(Kcal/g)	Air dry basis

ที่มา: AOAC อ้างโดย บัวเรียม และคณะ (2556)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดมาแล้วนำผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำของแต่ละชุดการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชต่ละชนิดกันในการบำบัดน้ำเสีย สำหรับอัตราการเจริญเติบโต และค่าโภชนาการอาหารสัตว์ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นต่างกันนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance, ANOVA) ของค่าดัชนีที่ได้จากการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 26

บทที่ 4
ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทดลองการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำบำบัด โดยน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในอำเภอ แม่แตง จังหวัด เชียงใหม่ และใช้พืชลอยน้ำ 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ โดยน้ำเสียเบื้องต้นมีค่า COD BOD SS และ TKN ที่มีความเข้มข้นสูงมาก โดยเฉพาะค่า TKN ทั้งนี้เนื่องจากเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ทำให้มีปริมาณของไนโตรเจนอินทรีย์ และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เกิดจากการขับถ่าย เช่น ปัสสาวะ และอุจจาระมีอยู่มาก คุณสมบัติแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การตรวจสอบคุณสมบัติน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้น

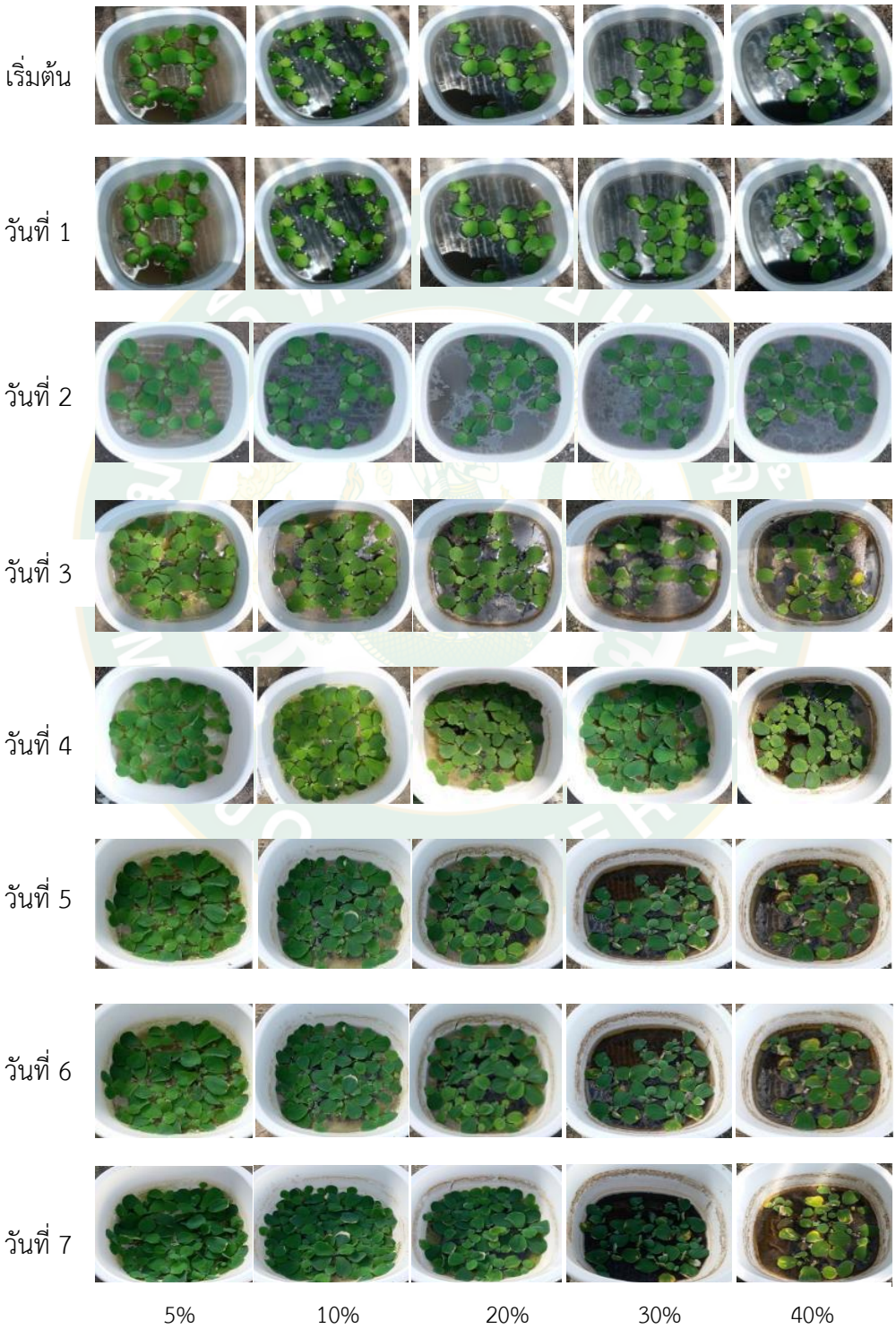
ตัวแปร	หน่วย	ค่าน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ได้
pH	-	6.72±0.19
อุณหภูมิ	°C	28.47±2.58
COD	mg/L	10,230.34±932.91
BOD	mg/L	6,700.00±100.00
SS	mg/L	6,820.00±652.41
TKN	mg/L	113,563.47±1,450.71

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำ และความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรเบื้องต้น

4.1.1 การเจริญเติบโตของจอก

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของจอกที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้น 5%, 10%, 20%, 30% และ 40% เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ในวันแรก และวันที่ 2 ของการทดลอง จอกมีความสมบูรณ์ ใบมีสีเขียวในทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ในวันที่ 3 ของการทดลอง พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 30% และ 40% จอกเริ่มมีใบเหี่ยว และมีสีเหลืองไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง จอกเจริญได้ไม่ดีนัก (ภาพที่ 19) ทั้งนี้อาจเนื่องจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มากเกินไปในน้ำเสียส่งผลต่อการเจริญของจอก ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 5%, 10%, 20% นั้น จอกสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดี ใบมีสีเขียวสดไม่มีต้นเหี่ยวแห้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า จอกเจริญได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 10% รองลงมาได้แก่ที่ระดับ 5%, และ 20% โดยมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 5 กรัม เป็น 17.58, 17.54 และ 14.23 กรัม เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 251.65, 250.84

และ 184.68 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในความเข้มข้นดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการเจริญของจอก สำหรับน้ำหนักแห้งพบว่ามีลักษณะการการเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสดเช่นกัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 19 และภาพที่ 20



ภาพที่ 19 การเจริญของจอกในน้ำเสียฟาร์มสุกร 7 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ตารางที่ 19 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อน้ำหนักสดของจอก

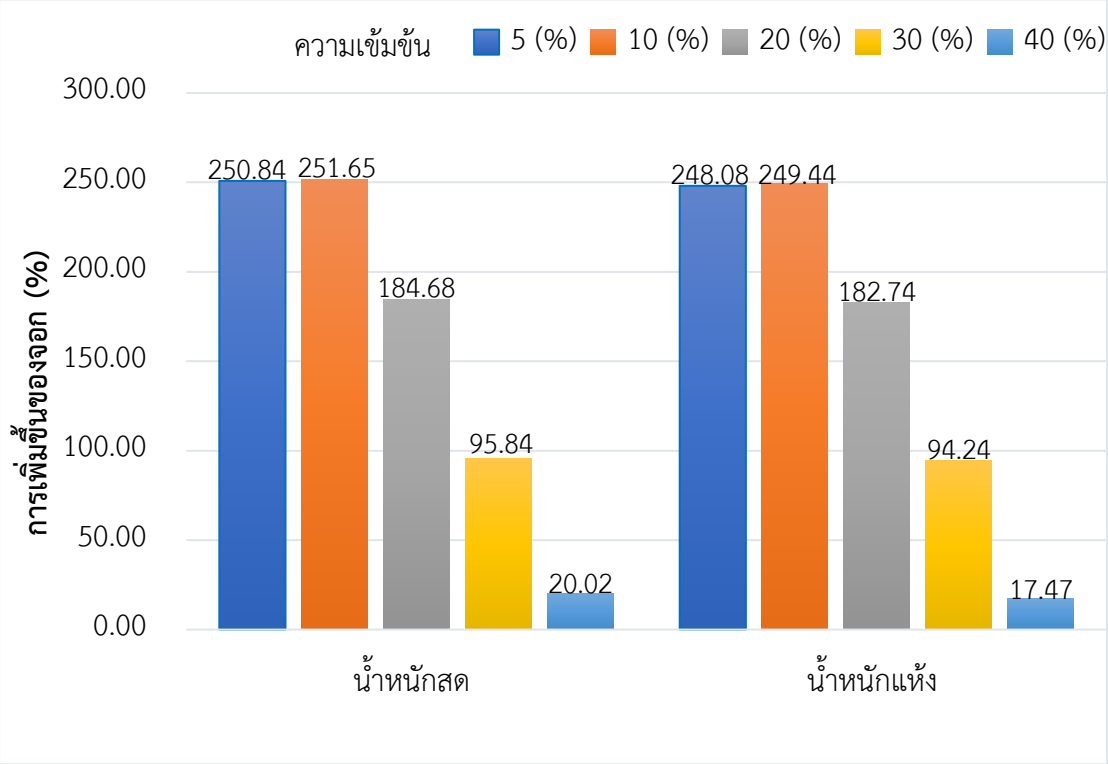
น้ำหนัก (g)	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)				
	5	10	20	30	40
WB (g)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
WA (g)	17.54	17.58	14.23	9.79	6.00
DB (g)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
DA (g)	0.91	0.91	0.74	0.51	0.31

หมายเหตุ: Fresh weight before (WB) น้ำหนักสดก่อนการทดลอง

Fresh weight after (WA) น้ำหนักสดหลังการทดลอง

Dry weight before (DB) น้ำหนักแห้งก่อนการทดลอง

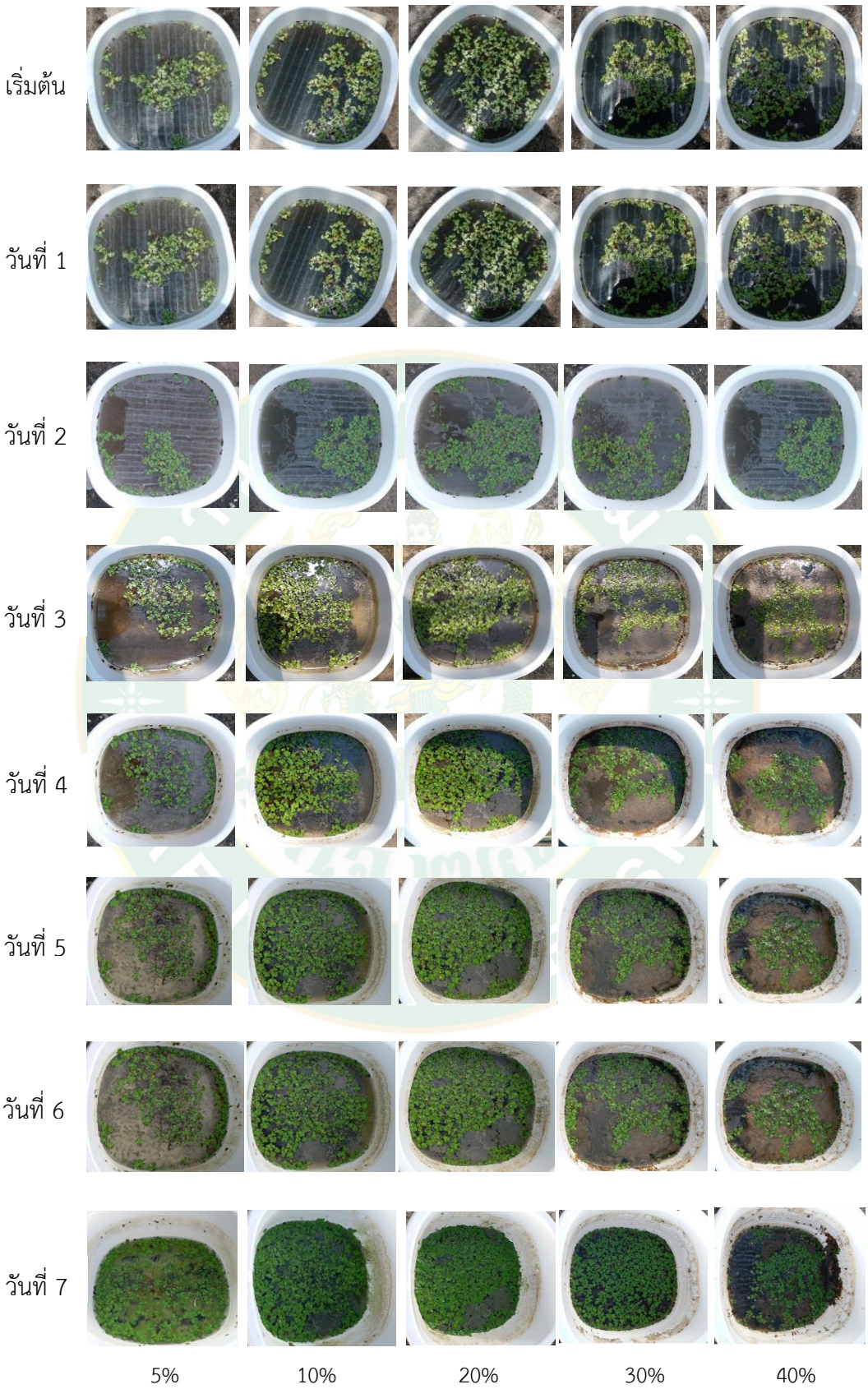
Dry weight after (DA) น้ำหนักแห้งหลังการทดลอง



ภาพที่ 20 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของจอกในเวลา 7 วันแสดงด้วยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

4.1.2 การเจริญของแหนเป็ดใหญ่

จากการศึกษาการเจริญของแหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้น 5%, 10%, 20%, 30% และ 40% เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ในวันแรกและวันที่ 2 ของการทดลอง แหนเป็ดใหญ่มีความสมบูรณ์ ใบมีสีเขียวในทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างไรก็ตามพบว่าตั้งแต่ในวันที่ 4 จนสิ้นสุดการทดลอง ที่ระดับความเข้มข้น 30% และ 40% แหนเป็ดใหญ่เริ่มมีใบเหี่ยว มีสีเหลืองและเริ่มมีการตายเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมีสารอินทรีย์มากเกินไป ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแหนเป็ดใหญ่ ทำให้พืชบางส่วนเหี่ยวแห้ง และตายลง เกิดการเน่าเปื่อยและกลายเป็นตะกอน (ภาพที่ 21) ประกอบกับปริมาณพืชปกคลุมมีอยู่เป็นจำนวนน้อย ทำให้เกิดการระเหยของน้ำไปเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้คุณภาพน้ำไม่ดีนัก ทำให้แหนเป็ดใหญ่เจริญได้ไม่ดีนัก ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 5%, 10%, 20% นั้น พืชสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดี เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า แหนเป็ดใหญ่เจริญได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 10% รองลงมาได้แก่ที่ระดับ 20% และ 5% โดยมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 5 กรัม เป็น 12, 11.50 และ 11.45 กรัม คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 140.04, 130.00 และ 129.00 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ระดับ 20% มีน้ำหนักสดมากกว่าที่ 5% เล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการคาดเคลื่อนเนื่องจากที่ระดับ 5% พบว่าพืชถูกแมลงกัดกินไปเป็นบางส่วน ทำให้น้ำหนักสดที่ได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น สำหรับน้ำหนักแห้งพบว่ามีลักษณะการเจริญไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสดเช่นกัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 20 และภาพที่ 22



ภาพที่ 21 การเจริญของแหนเป็ดใหญ่ในน้ำเสียฟาร์มสุกร 7 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ตารางที่ 20 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อน้ำหนักสดของแหนเป็ดใหญ่

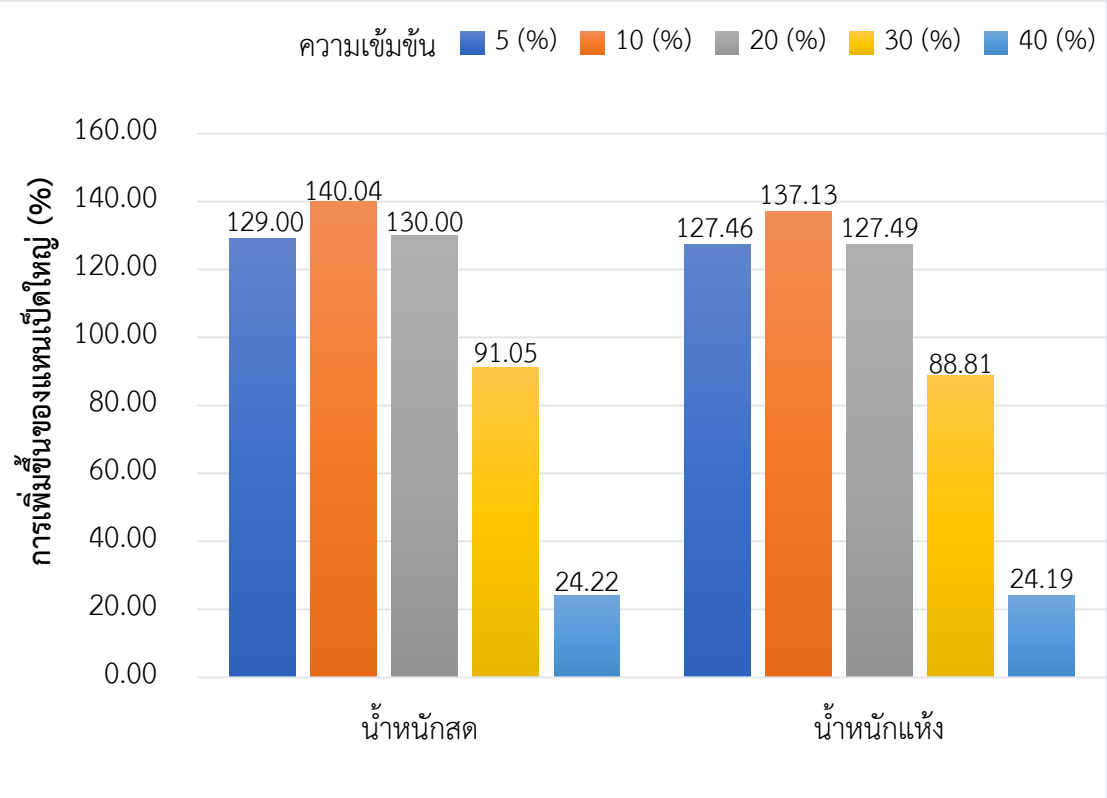
น้ำหนัก (g)	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)				
	5	10	20	30	40
WB (g)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
WA (g)	11.45	12.00	11.50	9.55	6.21
DB (g)	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
DA (g)	0.71	0.74	0.71	0.59	0.39

หมายเหตุ: Fresh weight before (WB) น้ำหนักสดก่อนการทดลอง

Fresh weight after (WA) น้ำหนักสดหลังการทดลอง

Dry weight before (DB) น้ำหนักแห้งก่อนการทดลอง

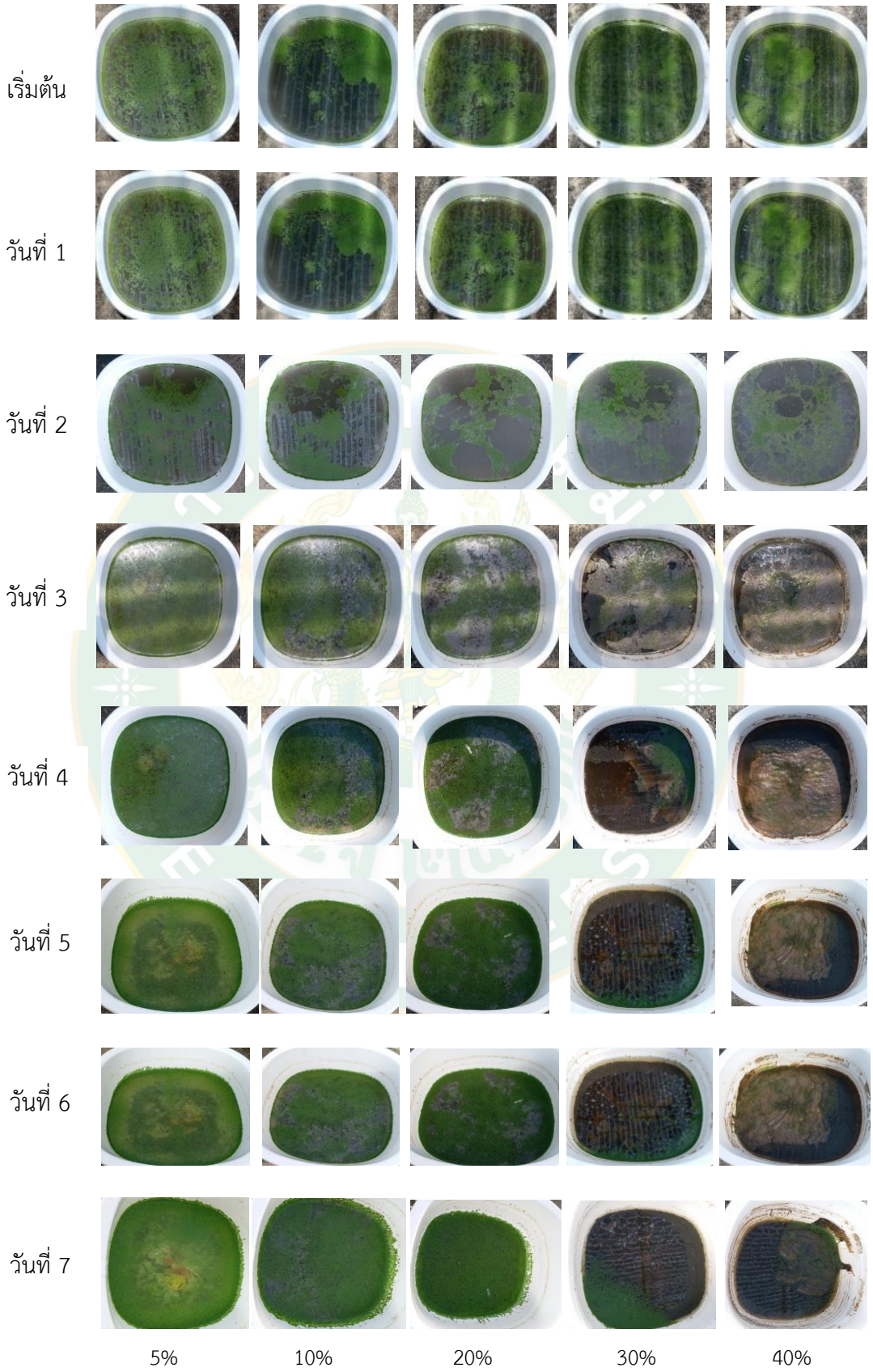
Dry weight after (DA) น้ำหนักแห้งหลังการทดลอง



ภาพที่ 22 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของแหนเป็ดใหญ่ในเวลา 7 วันแสดงด้วยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

4.1.3 การเจริญของไข่น้ำ

จากการทดลองการเจริญเติบโตของไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้น 5%, 10%, 20%, 30% และ 40% เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ไข่น้ำมีการเจริญคล้ายกับจอกและแหนเป็ดใหญ่ โดยที่ในระยะเริ่มแรกของการทดลองจะยังมีความสมบูรณ์และมีสีเขียวในทุกระดับของความเข้มข้น แต่ตั้งแต่วันที่ 3 ของการทดลองระดับความเข้มข้น 30% และ 40% ไข่น้ำเริ่มมีสีเหลืองและเริ่มตาย และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าไข่น้ำตายลง (ภาพที่ 23) ทั้งนี้อาจเนื่องจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มากเกินไปในน้ำเสีย อาจส่งผลต่อการเจริญของไข่น้ำ และพบว่ามีตะกอนจากการตายของไข่น้ำที่จมลงเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำ พบว่าน้ำมีสีคล้ำและเริ่มมีฝ้าขึ้น ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 5%, 10%, 20% นั้น ไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีจนเต็มพื้นที่ มีสีเขียวสดไม่มีต้นเหี่ยวแห้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ไข่น้ำเจริญได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 10% รองลงมาได้แก่ที่ระดับ 5% และ 20% โดยมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 5 กรัม เป็น 19.96, 17.96 และ 17.45 กรัม คิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้น 299.25, 259.10 และ 248.90 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในความเข้มข้นดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการเจริญของไข่น้ำ สำหรับน้ำหนักแห้งพบว่ามีลักษณะการเจริญไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสดเช่นกัน โดยเริ่มต้นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.13 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 0.60, 0.54 และ 0.52 กรัม คิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้น 360.67, 314.35 และ 302.58 โดย พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งมากกว่าน้ำหนักสด ทั้งนี้เนื่องจากไข่น้ำมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำค่อนข้างมาก ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 21 และภาพที่ 24



ภาพที่ 23 การเจริญของไข่น้ำในน้ำเสียฟาร์มสุกร 7 วันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ตารางที่ 21 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อน้ำหนักสดของไข่น้ำ

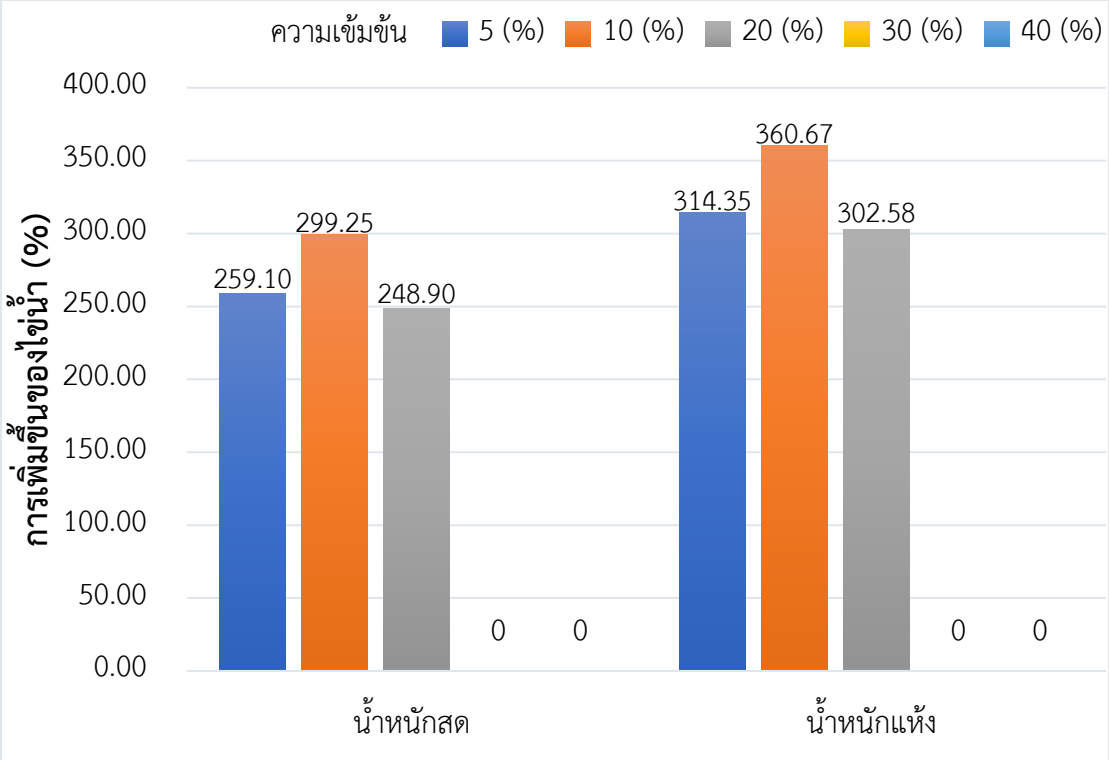
น้ำหนัก	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)				
	5	10	20	30	40
WB (g)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
WA (g)	17.96	19.96	17.45	0	0
DB (g)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
DA (g)	0.54	0.60	0.52	0	0

หมายเหตุ: Fresh weight before (WB) น้ำหนักสดก่อนการทดลอง

Fresh weight after (WA) น้ำหนักสดหลังการทดลอง

Dry weight before (DB) น้ำหนักแห้งก่อนการทดลอง

Dry weight after (DA) น้ำหนักแห้งหลังการทดลอง



ภาพที่ 24 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของไข่น้ำในเวลา 7 วันแสดงด้วยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

จากการทดลอง พบว่า พืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ ตั้งแต่ 5 - 20% โดยเห็นได้จากน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ 30% และ 40% พืชทั้ง 3 ชนิดเจริญเติบโตได้ได้ไม่ดี อย่างไรก็ตาม พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นที่ 20% พืช

ทั้ง 3 ชนิด มีการเจริญโดยคิดจากน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไม่มากนักเมื่อเทียบกับที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10% พืชทั้ง 3 ชนิดเจริญได้ดีในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกร (ตาราง 22) ดังนั้นในการทดลองตอนต่อไปจะใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5%, 10% และ 15% เพื่อให้ได้ผลผลิตของพืชจำนวนมาก

ตารางที่ 22 การเจริญของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระความเข้มข้นต่างๆ

parameter	จอก			แหนเป็ดใหญ่			ไข่น้ำ		
	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกร (%)								
	5	10	20	5	10	20	5	10	20
น้ำหนักสด (g)	250.84	251.7	184.7	129.00	140.04	130.00	127.5	137.1	248.9
น้ำหนักแห้ง (g)	248.08	249.4	182.7	259.10	299.3	127.5	314.4	360.7	302.6

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำใช้เวลา 14 วัน

4.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรไม่ผ่านการบำบัดโดยใช้จอก

คุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีการเจือจางกับน้ำประปาแล้วเพื่อเตรียมใช้จอกบำบัดยังมีค่า COD BOD SS และ TKN เข้มข้นสูง เนื่องจากน้ำเสียเป็นน้ำไม่ผ่านการบำบัดแสดงดังตารางที่ 23 และประสิทธิภาพของจอกในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรเป็นดังนี้

ตารางที่ 23 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนใช้จอกทดลอง

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)			
	0	5	10	15
pH	7.62±0.03	6.97±0.01	6.88 ±0.02	6.84±0.03
Temperature (°C)	26.10±0.06	25.63±0.01	25.53±0.03	25.53±0.03
COD (mg/L)	11.79±9.99	627.90±201.69	1,050.59±40.47	2,179.79±154.74
SS (mg/L)	0.89±0.38	305.00±13.23	603.33±11.55	833.33±5.77
BOD (mg/L)	1.40±1.35	365.00±135.28	642.50±229.99	1,380.00±216.33
TKN (mg/L)	23.35±10.70	4,989.30±169.50	10,677.07±266.14	15,093.00±307.39

พีเอช (pH)

จากการทดลองค่า pH ที่ระดับความเข้มข้น 0% 5% 10% และ 15% ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยจอกมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นในทุกความเข้มข้นเล็กน้อย โดยค่าพีเอช เริ่มต้นการทดลองอยู่ระหว่าง 6.84±0.03 - 7.62±0.03 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าพีเอช อยู่ระหว่าง 8.15±0.05 - 8.50±0.08 เนื่องจากจอกซึ่งเป็นพืชลอยน้ำอาจมีการสังเคราะห์แสง และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามในสภาวะที่เป็นด่างที่สูงเกินไปอาจทำให้แอมโมเนียมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งไม่สามารถดูดซับได้โดยพืช (Marty, 1999) โดยค่าพีเอชที่สูงกว่า 10.5 จะทำให้เนื้อเยื่อของพืชถูกทำลาย และจะฟื้นกลับสู่สภาวะปกติได้ยาก (Marty, 1999) ค่าพีเอช ได้มีนักวิจัยหลายคณะที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบบึงประดิษฐ์ในศตวรรษที่ 1980-1990 ได้ค้น พบหลักการทำงาน และปฏิกิริยาที่เกี่ยวกับบึงประดิษฐ์ โดย pH ที่เพิ่มขึ้นหรือลงแบคทีเรียก็เปลี่ยน (Vymazal, 2005) อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียหลังการทดลองอยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งพีเอช อยู่ระหว่าง 5.5-9.0 (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556) แต่เมื่อเทียบในชุดการทดลองเดียวกันพบว่า ค่าพีเอชที่ความเข้มข้น 5% 10% และ 15% มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมแสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำมีความเข้มข้นมากขึ้นค่าพีเอช มีค่าต่ำลง เนื่องจากสารอาหารมีมากทำให้พืชไม่เจริญ ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 24

อุณหภูมิ (°C)

จากการศึกษา พบว่า ตลอดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยก่อนการทดลองมีค่าในช่วง 25.53-26.10°C และหลังการทดลองมีค่าในช่วง 26.10-26.43°C โดยความเข้มข้นที่ 5% มีค่าต่ำกว่าที่ความเข้มข้นอื่นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของจอกที่ขึ้นปกคลุมผิวหน้าที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้นอื่นๆ จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้แดดส่องลงมาได้น้อยกว่า ในขณะที่ 0% มีปริมาณของจอกที่ขึ้นปกคลุมได้น้อยจึงทำให้มีอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับความเข้มข้นอื่นๆ เล็กน้อยซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 24

ซีโอดี (COD)

จากการทดลอง พบว่า สำหรับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15% นั้น พบว่ามีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% พบว่าจอกมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการทดลอง COD มีค่า 627.9±201.69 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 69.60±4.16 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 88.92% รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความเข้มข้น 10% เมื่อเริ่มต้น COD มีค่า

1050.59±40.47 mg/L และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 560.00±138.56 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 46.70% ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 15% เมื่อเริ่มต้น COD มีค่า 2179.79±154.74 mg/L และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 1440.00±360.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 33.94 % (ตารางที่ 24 และภาพที่ 25) ส่วนชุดควบคุม (0%) มีค่า COD เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 11.79±9.99 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 14 วัน เพิ่มขึ้นเป็น 26.40±8.31 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำที่ทำการทดลองเป็นน้ำประปา จึงมีธาตุอาหารไม่มากนัก ทำให้จอกได้รับสารอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญของจอกและมีการหลุดร่วงของใบลงสู่น้ำ เกิดการเน่าเปื่อย ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ COD เมื่อสิ้นสุดการทดลอง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระดับ 5% มีประสิทธิภาพการบำบัด COD ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของจอกที่เจริญได้มากที่สุด มีปริมาณราก และพื้นที่สัมผัสมาก ทำให้จุลินทรีย์ต่างๆ เจริญและยึดเกาะได้ดี เกิดการกรองสารแขวนลอยได้ดี จึงทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ ลดลงได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำเสียอื่นๆ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นที่ 10 และ 15% พบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่มากทำให้ความสามารถของจอกในการบำบัดได้น้อยกว่าแต่ก็มีแนวโน้มที่จะบำบัดได้มากขึ้น ถ้าระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าที่จอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% อยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า COD อยู่ระหว่าง 300-400 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556) และผลการศึกษานี้ยังมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าผลการศึกษาของ (Sooknah *et al.,* 2004) ศึกษาการกำจัดสารอาหารโดยพืชลอยน้ำที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียมูลโคนมที่ผ่านการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้เวลาในการบำบัด 31 วัน ซึ่งผลการกำจัดค่า COD ได้ร้อยละ 79.6 และผลการทดลองนี้ยังสูงกว่าผลของ (Jianbo *et al.,* 2008) ที่ศึกษา ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงเป็ด และผลกระทบของการใช้ผักตบชวาเป็นอาหารเป็ด ที่ใช้เวลาในการทดลอง 40 วัน โดยผลการกำจัดค่า COD ได้ร้อยละ 64.44 และสูงกว่าผลของ (Lu *et al.,* (2018) ศึกษาการกำจัดธาตุอาหารโดยผักตบ จอก และสาหร่ายพุงชโด โดยใช้เวลา 16 วัน ซึ่งจอกกำจัดค่า COD ได้ร้อยระ 61

บีโอดี (BOD)

จากผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 5% จอกมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการทดลอง BOD มีค่า 365.00±135.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 19.33±1.15 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด

94.70% การลดลงของ BOD เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นหลัก ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% มีประมาณของพืชมาก ทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้มาก เกิดการถ่ายเทออกซิเจนไปยังระบบรากได้ดี ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 10% เมื่อเริ่มต้น BOD มีค่า 642.50±229.99 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 75.00±15.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 88.33% และที่ระดับความเข้มข้น 15% เมื่อเริ่มต้น BOD มีค่า 1,380.00±216.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 160.00±45.85 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 88.41% (ตารางที่ 24 และภาพที่ 25) ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า BOD ลดลงเล็กน้อย จากผลการศึกษาพบว่าที่จอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% อยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า BOD อยู่ระหว่าง 60-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556) และผลการศึกษานี้ยังมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าผลการศึกษาของ (Chen *et al.,* 2008) ที่ศึกษาการสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสียสุกรภายหลังการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้พืช 4 ชิดมีพืชลอยน้ำ 2 ชนิด และใส่พืชกวมเอา 65% ของพื้นที่ ซึ่งลดค่า BOD ร้อยละ 64 ของจอก และ 58 ของผักตบชวา นอกนี้ผลการบำบัดค่า BOD ยังสามารถลดได้มากกว่าผลการศึกษาของ (Singh *et al.,* 2021) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของจอกกำจัดมลพิษจากน้ำทิ้งโรงงานกระดาษ โดยลดค่า BOD ได้ร้อยละ 85.03%

ของแข็งแขวนลอย (SS)

จากการศึกษาพบว่าจอกมีประสิทธิภาพในการกำจัด SS ได้ดีในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยบำบัดได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 5% มีค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง 305.00±13.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 48.81±11.45 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 85.64% รองลงมาได้แก่ที่ระดับความเข้มข้น 15% มีค่าเริ่มต้น 833.33±5.77 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเหลือ 140.25±27.50 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 83.20% และที่ระดับความเข้มข้น 10% พบว่า มีค่าเริ่มต้น 603.33±11.55 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 108.33±20.88 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 82.04% (ตารางที่ 24 และภาพที่ 25) ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า SS เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำประปาทำให้จอกเจริญไม่ดีนัก มีการหลุดร่วงของใบและรากลงสู่น้ำ เกิดเป็นตะกอนขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า SS จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า จอกสามารถบำบัดค่า SS ได้ดีในทุกความเข้มข้น เนื่องจากจอกมีรากแขนงและรากฝอยเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการกรอง ตะกอนยึดเกาะที่รากพืชและจมลงที่ก้นบ่อได้ดี (Brix *et al.,* 1989) รวมไปถึงการที่มีพื้นที่สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะที่รากได้มาก ซึ่งเป็นการช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์

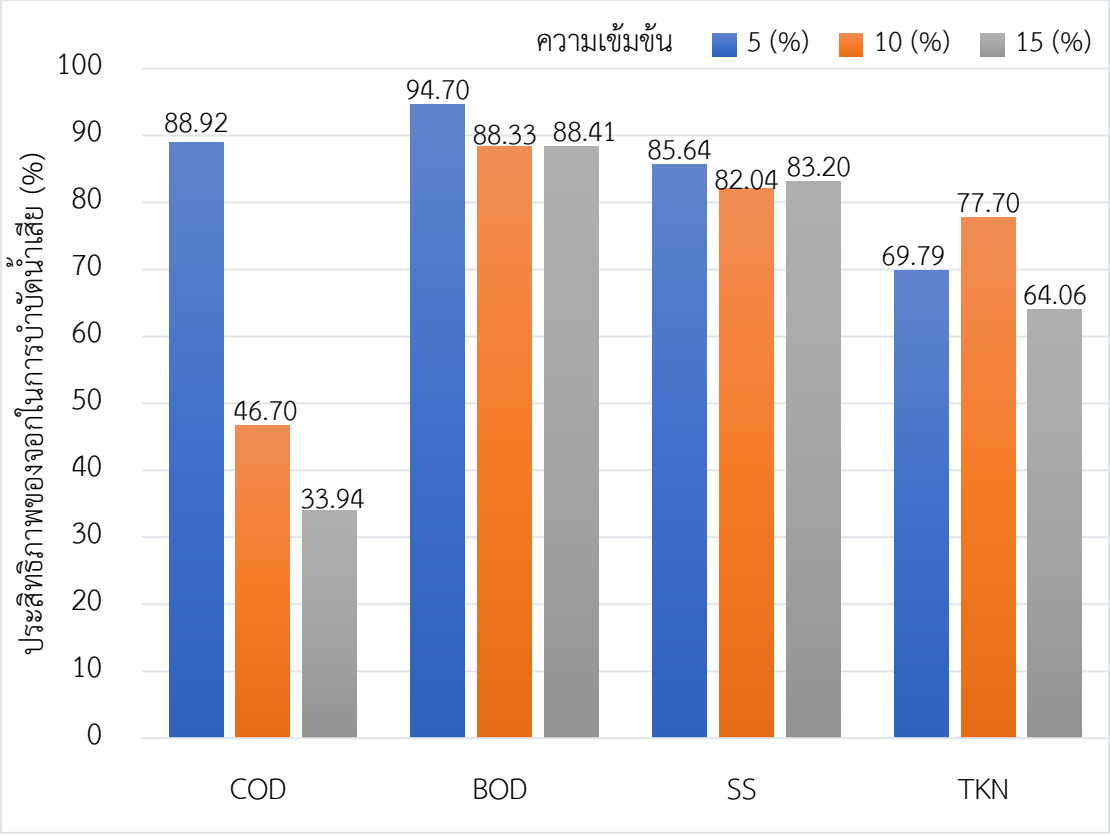
ต่างๆ ได้ดี ทำให้ลดค่า SS ในน้ำทิ้งได้ดี และจากผลการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งทุกระดับความเข้มข้นที่ผ่านการบำบัดด้วยจอกมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า SS อยู่ระหว่าง 150-200 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ผลการทดลองนี้มากกว่างานวิจัยของ (Sooknah *et al.,* 2004) ที่ศึกษาการกำจัดสารอาหารโดยพืชลอยน้ำที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียมูลโคนมที่ผ่านการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้เวลาในการบำบัด 31 วัน ซึ่งผลการกำจัดค่า SS ได้ร้อยละ 61.10 และยังมากกว่าผลการศึกษาของ (Chen *et al.,* 2008) ที่ศึกษาการสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียสุกรภายหลังการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งให้ผลการทดลองการลดลงของค่า SS ร้อยละ 73

ไนโตรเจนเจลดาห์ลโดยรวม (TKN)

จากการศึกษาพบว่าน้ำเริ่มต้นการทดลองมีค่า TKN ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ทำให้มีปริมาณของไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เกิดจากการขับถ่าย เช่นปัสสาวะและอุจจาระมีอยู่มาก โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 10% จอกมีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการเพาะเลี้ยงจอก TKN มีค่า 10,677.07±266.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 2,381.19±325.09 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 77.70% รองลงมาได้แก่ที่ระดับความเข้มข้น 5% มีค่าเริ่มต้น 4,989.30±169.50 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเหลือ 1,507.16±143.47 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 69.79% (ตารางที่ 24 และภาพที่ 25) จากผลการทดลองพบว่าจอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรได้ค่อนข้างดีในทุกระดับของความเข้มข้นของน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากจอกมีรากแขนง และรากฝอยเป็นจำนวนมาก ทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์มาก เกิดการสัมผัสของสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย และจุลินทรีย์ได้ดี ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า TKN เพิ่มมากขึ้น 792.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากชุดควบคุมเป็นน้ำประปาเพียงอย่างเดียวทำให้จอกเจริญได้น้อย มีการหลุดร่วงของใบ และรากลงสู่น้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของสารอินทรีย์ลงในน้ำมากขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TKN ของชุดควบคุม ผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล่องกับงานวิจัยของ (Liu *et al.,* 2011) & (Lu *et al.,* 2018) และให้ผลมากกว่างานวิจัยของ (Chen *et al.,* 2008) & (Jianbo *et al.,* 2008) & (Meng *et al.,* 2012) & (Weirich *et al.,* 2020)

ตารางที่ 24 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรหลังสิ้นสุดการทดลองที่ใช้จอกบำบัดในระดับความเข้มข้นต่างกัน

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)			
	0	5	10	15
pH	8.50±0.05	8.32±0.01	8.17±0.00	8.15±0.03
TP(°C)	26.43±0.09	26.10±0.06	26.13±0.09	26.17±0.03
COD (mg/L)	26.40±8.31	69.60±4.16	560.00±138.56	1,440.00±360.00
BOD (mg/L)	3.20±1.25	19.33±1.15	75.00±15.00	160.00±45.83
SS (mg/L)	4.89±1.68	43.81±11.45	108.33±20.88	140.25±27.50
TKN (mg/L)	815.55±170.12	1,507.16±143.47	2,381.19±325.09	5,424.44±35.58



ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพของจอกในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างกัน

4.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรไม่ผ่านการบำบัดโดยใช้แหนเป็ดใหญ่

คุณสมบัติของน้ำเสียที่เจือจางแล้วยังมีความเข้มข้นสูง แสดงดังตารางที่ 25 จากนั้นเมื่อบำบัดโดยใช้แหนเป็ดใหญ่ พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรดังนี้

ตารางที่ 25 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนใช้แหนเป็ดใหญ่ทดลอง

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)			
	0	5	10	15
pH	7.32±0.02	7.28±0.01	7.32±0.01	7.33±0.01
Temperature (°C)	29.87±0.06	29.93±0.06	29.97±0.06	30.00±0.00
COD (mg/L)	17.33±4.62	616.67±57.74	1,044.44±38.49	1,833.33±115.47
BOD (mg/L)	1.40±0.17	245.00±8.66	450.00±0.00	810.00±0.00
SS (mg/L)	0.56±0.00	295.00±10.00	562.22±3.85	826.67±15.28
TKN (mg/L)	32.68±14.01	4,823.08±777.48	9,326.33±109.18	14,177.42±702.81

พีเอช (pH)

จากการทดลองค่า pH ที่ระดับความเข้มข้น 0% 5% 10% และ 15% ผลการทดลองพบว่า ค่า pH ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยแหนเป็ดใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นในทุกความเข้มข้นเล็กน้อย โดยค่า pH เริ่มต้นการทดลองอยู่ระหว่าง 7.28±0.01 - 7.33±0.01 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 8.09±0.01 - 8.56±0.05 เนื่องจากแหนเป็ดใหญ่ซึ่งเป็นพืชลอยน้ำอาจมีการสังเคราะห์แสง และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามในสภาวะที่เป็นด่างที่สูงเกินไปอาจทำให้แอมโมเนียมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งไม่สามารถดูดซับได้โดยพืช (Marty, 1999) ค่าพีเอช ที่เพิ่มขึ้น หรือต่ำลงเนื่องจากกระบวนการบำบัด และชนิดของแบคทีเรียมีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังการทดลองอยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง พีเอชให้มีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-9.0 (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556) และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (Xu and Shen, 2011) แต่เมื่อเทียบในชุดการทดลองเดียวกัน พบว่า ค่า pH ที่ความเข้มข้น 10% และ 15% มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม และ 5% แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำมีความเข้มข้นมากขึ้นค่าพีเอช มีค่าต่ำลง เนื่องจากสารอาหารมีมากทำให้พืชไม่เจริญ ซึ่งผลการทดลองได้แสดงใน (ตารางที่ 26) พีเอชในน้ำเสียเป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ มักนิยมใช้เข้าในการควบคุมการบำบัดน้ำเสียควบคู่กับค่าพารามิเตอร์อื่น เนื่องจากค่าพีเอช มีความสำพันธ์กันโดยตรงต่อการเจริญของกลุ่มแบคทีเรีย หรือ สิ่งมีชีวิตอื่นๆ

อุณหภูมิ (°C)

จากการศึกษา พบว่า ตลอดการทดลองมีค่าอุณหภูมิที่ผ่านการบำบัดด้วยแหนเป็ดใหญ่มีค่าลดลงจากก่อน การทดลองทุกความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย โดยก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 29.87±0.06 - 30.00±0.00 °C เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าในช่วง 27.13±0.15 - 27.23±0.21 °C โดยทุกความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งผลแสดงในตารางที่ 26

ซีโอดี (COD)

จากการทดลองที่ใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัด พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5, 10 และ 15% นั้นมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แต่ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ลดลงมากที่ระดับ 5% โดยมีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการทดลอง COD มีค่า 616.67±57.74 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 84.07±11.20 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 86.37% รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความเข้มข้น 10% เมื่อเริ่มต้น COD มีค่า 1,044.44±38.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 155.20±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 85.14% ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 15% เมื่อเริ่มต้น COD มีค่า 1,833.33±115.47 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 310.40±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 83.07% ส่วนชุดควบคุม (0%) มีค่า COD เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 17.33±4.62 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 14 วัน เพิ่มขึ้นเป็น 23.28±7.76 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำที่ทำการทดลองเป็นน้ำประปาจึงมีธาตุอาหารไม่มากนัก ทำให้แหนเป็ดใหญ่ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ ต่อการเจริญของแหนเป็ดใหญ่ และมีการหลุดร่วงของใบลงสู่น้ำ เกิดการเน่าเปื่อย ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ COD เมื่อสิ้นสุการทดลอง (ตารางที่ 26 และภาพที่ 26) ผลการศึกษานี้ยังมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าการศึกษาของ (Amare *et al.,* 2018) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระดับ 5% มีประสิทธิภาพการบำบัด COD ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแหนเป็ดใหญ่ที่เจริญได้มากที่สุด มีปริมาณราก และพื้นที่สัมผัสมาก ทำให้จุลินทรีย์ต่างๆ เจริญและยึดเกาะได้ดี เกิดการกรองสารแขวนลอยได้ดี จึงทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ ลดลงได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำเสียอื่นๆ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นที่ 10 และ 15% พบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่มากทำให้ความสามารถของแหนเป็ดใหญ่ในการบำบัดได้น้อยกว่าแต่ก็มีแนวโน้มที่จะบำบัดได้มากขึ้น ถ้าระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าที่แหนเป็ดใหญ่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% อยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า COD อยู่ระหว่าง 300-400 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

บีโอดี (BOD)

จากผลการทดลอง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% แหนเป็ดใหญ่ มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการทดลอง BOD มีค่า 245.00±8.66 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 19.00±2.29 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 92.24% การลดลงของ BOD เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นหลัก ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% มีประมาณของพืชมาก ทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้มาก เกิดการถ่ายเทออกซิเจนไปยังระบบรากได้ดี ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 10% เมื่อเริ่มต้น BOD มีค่า 450.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 45.00mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 90.00% และที่ระดับความเข้มข้น 15% เมื่อเริ่มต้น BOD มีค่า 810.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 82.00±3.46 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 89.88% (ตารางที่ 26 และภาพที่ 26) ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ความเข้มข้นมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่างานวิจัยของ (ณัฐสิมา และคณะ, 2011) และดีกว่าของ (Amare *et al.,* 2018) ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า BOD เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากผลการศึกษาพบว่าที่จอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% อยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า BOD อยู่ระหว่าง 60-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ของแข็งแขวนลอย (SS)

จากการศึกษา พบว่า แหนเป็ดใหญ่มีประสิทธิภาพในการกำจัด SS ได้ดีในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร แต่บำบัดได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง 295.00±10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 29.52±4.12 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 89.99% รองลงมาได้แก่ที่ระดับความเข้มข้น 10% มีค่าเริ่มต้น 562.22±3.85 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเหลือ 76.67±6.01 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 86.36% และที่ระดับความเข้มข้น 15% พบว่า มีค่าเริ่มต้น 826.67±15.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 151.33±16.29 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 81.69% (ตารางที่ 26 และภาพที่ 26) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แหนเป็ดใหญ่สามารถบำบัดค่า SS ได้ดีในทุกความเข้มข้น เนื่องจากแหนเป็ดใหญ่มีรากแขนง และรากฝอยเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการกรองตะกอนยึดเกาะที่รากพืชและจมลงที่ก้นบ่อได้ดี (Brix *et al.,* 1989) รวมไปถึงการที่มีพื้นที่สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะที่รากได้มาก ซึ่งเป็นการช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ดี ทำให้ลดค่า SS ในน้ำทิ้งได้ดี และจากผลการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% ที่ผ่านการบำบัดด้วยแหนเป็ดใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ

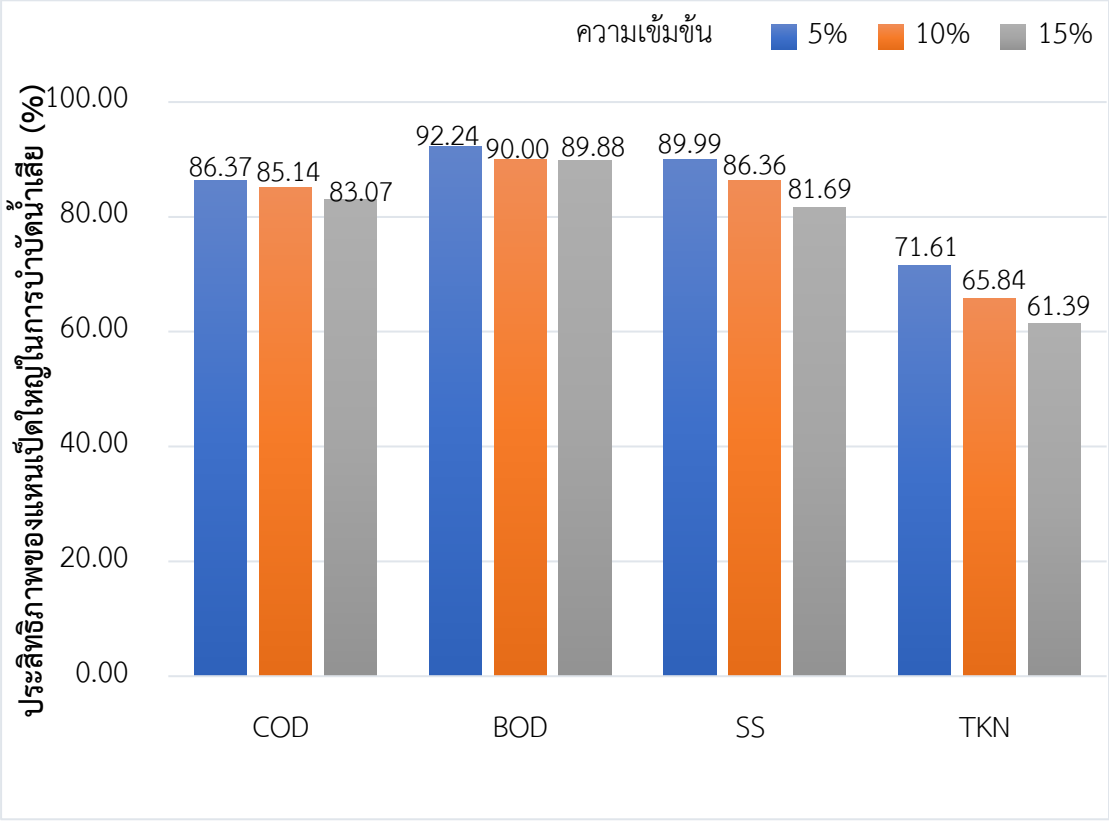
น้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า SS อยู่ระหว่าง 150-200 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า SS เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำประปาทำให้แหนเป็ดใหญ่เจริญไม่ดีนัก มีการหลุดร่วงของใบ และรากลงสู่น้ำ เกิดเป็นตะกอนขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า SS

ไนโตรเจนเจลดาห์ลโดยรวม (TKN)

จากการศึกษา พบว่า น้ำเริ่มต้นการทดลองมีค่า TKN ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ทำให้มีปริมาณของไนโตรเจนอินทรีย์ และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เกิดจากการขับถ่าย เช่นปัสสาวะและอุจจาระมีอยู่มาก ซึ่งพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% ที่แหนเป็ดใหญ่บำบัดมีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการเพาะเลี้ยงแหนเป็ดใหญ่ TKN มีค่า 4,823.08±777.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 1,369.18±12.13 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 71.61% รองลงมาได้แก่ที่ระดับความเข้มข้น 10% มีค่าเริ่มต้น 9,326.33±109.17 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเหลือ 3,185.43±744.13 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 65.84% (ตารางที่ 26 และภาพที่ 26) ซึ่งการทดลองนี้ทั้ง 3 ความเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่างานวิจัยของ (ณัฐสิมา และคณะ, 2011) ที่บำบัด 21 วัน จากผลการทดลองพบว่าแหนเป็ดใหญ่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรได้ค่อนข้างดีในทุกระดับของความเข้มข้นของน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากแหนเป็ดใหญ่มีรากแขนง และรากฝอยเป็นจำนวนมาก ทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์มาก เกิดการสัมผัสของสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย และจุลินทรีย์ได้ดี ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า TKN เพิ่มมากขึ้น 80.54 mg/L ซึ่งค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากชุดควบคุมเป็นน้ำประปาเพียงอย่างเดียว ทำให้แหนเป็ดใหญ่เจริญได้น้อย มีการหลุดร่วงของใบ และรากลงสู่น้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของสารอินทรีย์ลงในน้ำมากขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TKN ของชุดควบคุม

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรสิ้นสุดการทดลองที่ใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัดในระดับความเข้มข้นต่างกัน

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)			
	0	5	10	15
pH	8.50±0.00	8.56±0.05	8.09±0.02	8.09±0.01
Temperature (°C)	27.13±0.15	27.23±0.21	27.00±0.00	27.20±0.10
COD (mg/L)	23.28±7.76	84.07±11.20	155.20±0.00	310.40±0.00
BOD (mg/L)	3.70±0.17	19.00±2.29	45.00±0.00	82.00±3.46
SS (mg/L)	5.33±1.15	29.52±4.13	76.67±6.01	151.33±16.29
TKN (mg/L)	133.22±29.16	1,369.19±12.13	3,185.42±744.13	5,473.24±151.51



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพของแหนเป็ดใหญ่ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างกัน

4.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรไม่ผ่านการบำบัดโดยใช้ไข่น้ำ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดพบว่า มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากน้ำเสียเป็นน้ำที่ไม่ผ่านระบบแสดงดังตารางที่ 27 จากนั้นเมื่อบำบัดโดยใช้ไข่น้ำ พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรดังนี้

ตารางที่ 27 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนใช้ไข่น้ำทดลอง

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)			
	0	5	10	15
pH	8.04±0.01	7.66±0.03	7.48±0.02	7.42±0.01
Temperature (°C)	30.63±0.06	30.50±0.00	31.03±0.06	30.70±0.00
COD (mg/L)	11.88±0.00	660.00±65.32	1,188.00±0.00	2,244.00±264.00
BOD (mg/L)	2.30±0.17	250.00±8.66	540.00±15.00	900±30.00
SS (mg/L)	0.50±0.00	388.33±17.56	790.00±0.00	923.33±15.28
TKN (mg/L)	37.35±8.09	5,836.25±80.87	11,252.29±808.69	15,921.19±808.69

พีเอช (pH)

จากการทดลองค่าพีเอช ที่ระดับความเข้มข้น 0% 5% 10% และ 15% ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอช ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยไข่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นในทุกความเข้มข้นเล็กน้อย โดยค่าพีเอช เริ่มต้นการทดลองอยู่ระหว่าง 7.42±0.01 - 7.42±0.01 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าพีเอช อยู่ระหว่าง 8.24±0.02 - 8.87±0.22 โดยค่าพีเอช ที่สูง ขึ้น หรือ ต่ำลงเนื่องจากกลไกการบำบัดและชนิดของแบคทีเรียได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงค่าที่เหมาะสมต่อกลไกลหรือ การเจริญเติบโตของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียหลังการทดลองอยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง พีเอชอยู่ระหว่าง 5.5-9.0 (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (Xu and Shen, 2011) แต่เมื่อเทียบในชุดการทดลองเดียวกัน พบว่า ค่าพีเอช ที่ความเข้มข้น 15% และ 10% มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม และ 5% แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำยังมีความเข้มข้นที่มากค่าพีเอช ก็มีความเป็นกรดค่อนข้างมากส่งผลให้พืชไม่เจริญ เนื่องจากไปทำลายเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 28

อุณหภูมิ (°C)

จากการศึกษา พบว่า ตลอดการทดลองมีค่าอุณหภูมิที่ผ่านการบำบัดด้วยไข่น้ำมีค่าใกล้เคียงกับก่อนการทดลองเพียงเล็กน้อย โดยก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 29.87±0.06 - 30.00±0.00 °C เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าในช่วง 30.50±0.00 - 30.70±0.00 °C โดยทุกความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งผลแสดงในตารางที่ 28

ซีโอดี (COD)

จากการทดลอง พบว่า ชุดควบคุม (0%) มีค่า COD เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 11.88±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 14 วัน เพิ่มขึ้นเป็น 34.67±74.62 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำที่ทำการทดลองเป็นน้ำประปาจึงมีธาตุอาหารไม่มากนักทำให้ไข่น้ำได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ ต่อการเจริญของไข่น้ำ และมีการหลุดร่วงลงสู่น้ำ เกิดการเน่าเปื่อย ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ COD เมื่อสิ้นสุการทดลอง สำหรับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15% นั้น พบว่ามีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% พบว่าไข่น้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการทดลอง COD มีค่า 660.00±65.32 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดลองมีค่า 178.96±45.02 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 72.88% รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความเข้มข้น 10% เมื่อเริ่มต้น COD มีค่า 1,188.00±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 360.00±40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 69.70% ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 15% เมื่อเริ่มต้น COD มีค่า 2,44.00±264.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 1,440.00±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 35.83% (ตารางที่ 28 ภาพที่ 27) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระดับ 5% มีประสิทธิภาพการบำบัด COD ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของไข่น้ำที่เจริญได้มากที่สุด มีปริมาณราก และพื้นที่สัมผัสมาก ทำให้จุลินทรีย์ต่างๆ เจริญและยึดเกาะได้ดี เกิดการกรองสารแขวนลอยได้ดี จึงทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ ลดลงได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำเสียอื่นๆ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นที่ 10 และ 15% พบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่มากทำให้ความสามารถของไข่น้ำในการบำบัดได้น้อยกว่าแต่ก็มีแนวโน้มที่จะบำบัดได้มากขึ้น ถ้ามีการเพิ่มปริมาณของไข่น้ำให้มากขึ้น เนื่องจากของไข่น้ำไม่สามารถทนอยู่ได้ในน้ำที่มีสารอาหารที่มากเกินไป จากผลการศึกษาพบว่าที่ของไข่น้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% อยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า COD อยู่ระหว่าง 300-400 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

บีโอดี (BOD)

จากผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% ไข่น้ำ มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการทดลอง BOD มีค่า 250±8.66 มิลลิกรัมต่อลิตรและหลังจากการทดลองมีค่า 37.00±1.73 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 85.20% การลดลงของ BOD เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นหลัก ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% มีประมาณของพืชมาก ทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้มาก เกิดการถ่ายเทออกซิเจนไปยังระบบรากได้ดี ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 10% เมื่อเริ่มต้น BOD มีค่า 540.00±15.00 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 82.00±3.46 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 84.81% และที่ระดับความเข้มข้น 15% เมื่อเริ่มต้น BOD มีค่า 900.00±30.00 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 370.00±34.64 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 58.89% (ตารางที่ 28 และภาพที่ 27) ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า BOD เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากผลการศึกษาพบว่าที่จอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% อยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า BOD อยู่ระหว่าง 60-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ของแข็งแขวนลอย (SS)

จากการศึกษา พบว่า ไข่น้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัด SS ได้ดีในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยบำบัดได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง 388.33±17.56 มิลลิกรัมต่อลิตรและหลังจากการทดลองมีค่า 91.81±55.80 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 76.36% รองลงมาได้แก่ที่ระดับความเข้มข้น 10% มีค่าเริ่มต้น 790.00±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเหลือ 198.67±28.59 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 74.85% และที่ระดับความเข้มข้น 15% พบว่า มีค่าเริ่มต้น 923.33±15.28 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 334.67±105.08 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 72.56% (ตารางที่ 28 และภาพที่ 27) ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า SS เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำประปาทำให้ไข่น้ำเจริญไม่ดีนัก มีการหลุดร่วงลงสู่น้ำเกิดเป็นตะกอนขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า SS จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แหนเป็ดใหญ่สามารถบำบัดค่า SS ได้ดีในทุกความเข้มข้น เนื่องจากไข่น้ำมีการกรองตะกอนยึดเกาะที่รากพืชและจมลงที่ก้นบ่อได้ดี (Brix *et al.,* 1989) รวมไปถึงการที่มีพื้นที่สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะที่รากได้มาก ซึ่งเป็นการช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ดี ทำให้ลดค่า SS ในน้ำทิ้งได้ดี และจากผลการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้น 5% เนื่องจากการเพิ่มประชากรของแบคทีเรียรอบๆบริเวณราก ซึ่ง

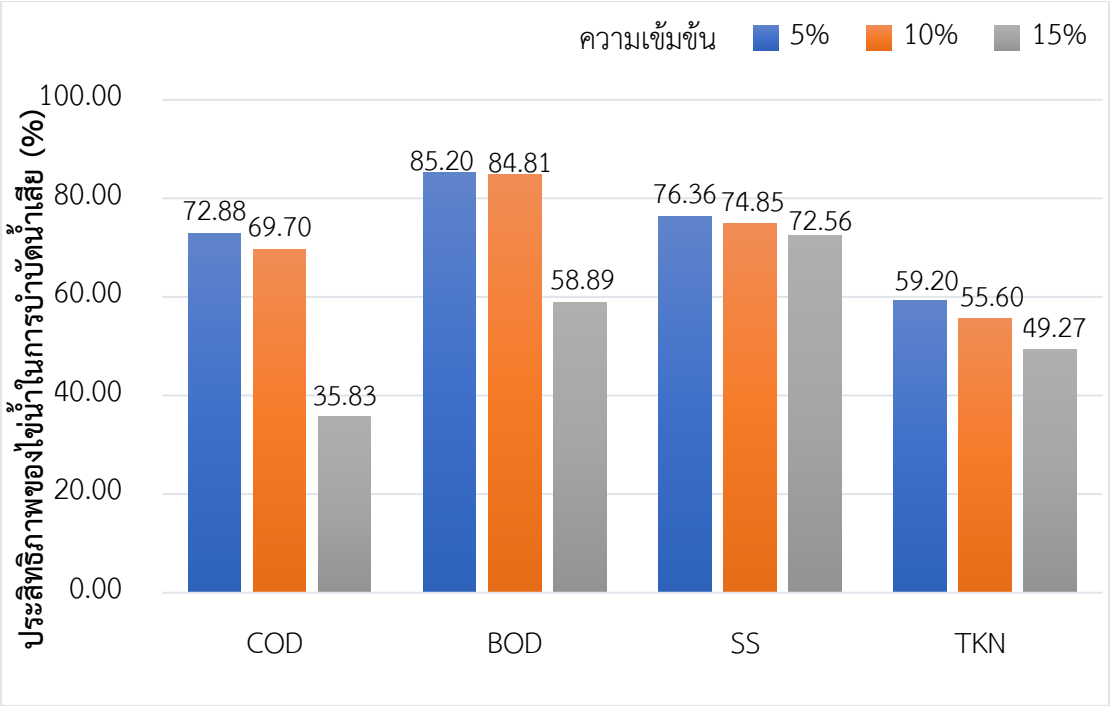
ช่วยในการลดตะกอนที่ผ่านการบำบัดด้วยไข่น้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำเสียของฟาร์มสุกร ประเภท ก ข และค ที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ค่า SS อยู่ระหว่าง 150-200 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ไนโตรเจนเจลดาห์ลโดยรวม (TKN)

จากการศึกษาพบว่าน้ำเริ่มต้นการทดลองมีค่า TKN ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ทำให้มีปริมาณของไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เกิดจากการขับถ่าย เช่นปัสสาวะและอุจจาระมีอยู่มาก โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% ไข่น้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN มากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นก่อนการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ TKN มีค่า 5,836.25±80.87 มิลลิกรัมต่อลิตรและหลังจากการทดลองมีค่า 2,381.19±80.87 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 59.20% รองลงมาได้แก่ที่ระดับความเข้มข้น 10% มีค่าเริ่มต้น 11,252.29±808.69 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเหลือ 4,995.83±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 55.60% (ตารางที่ 28 และภาพที่ 27) จากผลการทดลองพบว่าไข่น้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรได้ค่อนข้างดีในทุกระดับของความเข้มข้นของน้ำเสีย สอดคล่องกับ (บุญทิวาและคณะ, 2556) ทั้งนี้เนื่องจากไข่น้ำมีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์มาก เกิดการสัมผัสของสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย และจุลินทรีย์ได้ดี ในขณะที่ชุดควบคุม (0%) พบว่า มีค่า TKN เพิ่มมากขึ้น 196.10 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากชุดควบคุมเป็นน้ำประปาเพียงอย่างเดียวทำให้ไข่น้ำเจริญได้น้อย มีการหลุดร่วงของใบ และรากลงสู่น้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของสารอินทรีย์ลงในน้ำมากขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TKN ของชุดควบคุม

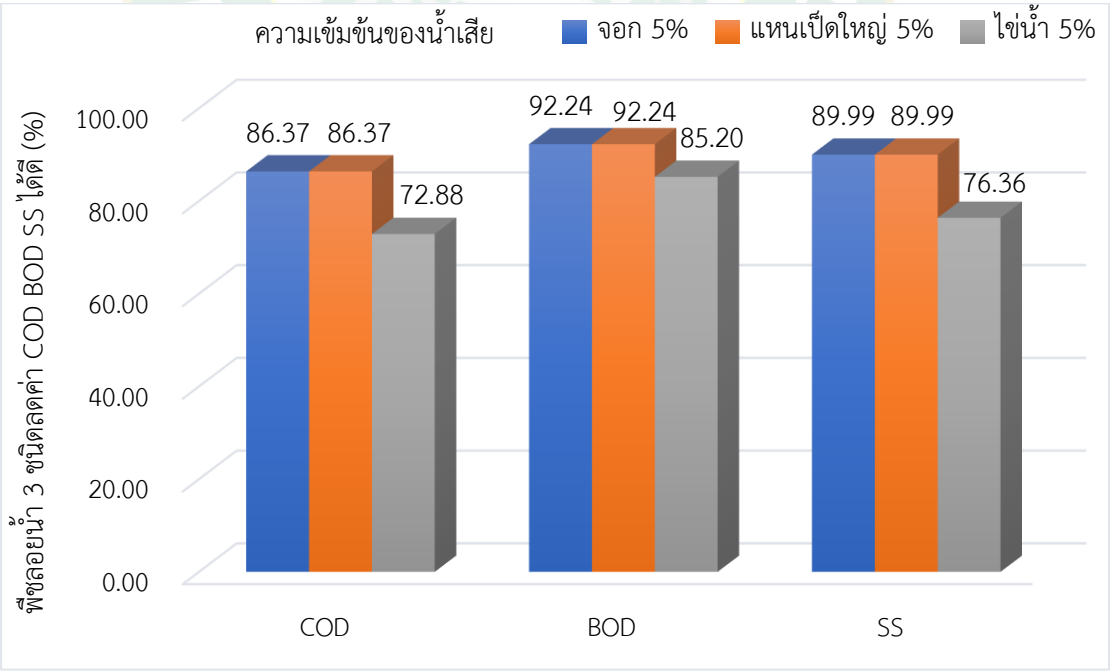
ตารางที่ 28 คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรสิ้นสุดการทดลองที่ใช้ไข่น้ำบำบัดในระดับความเข้มข้นต่างกัน

ตัวแปร	ความเข้มของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)			
	0 (%)	5 (%)	10 (%)	15 (%)
pH	8.87±0.22	8.52±0.26	8.49±0.06	8.24±0.02
อุณหภูมิ (°C)	29.17±0.25	29.83±0.15	30.53±0.12	30.27±0.21
COD (mg/L)	34.67±4.62	178.96±45.02	360.00±40.00	1,440.00±0.00
BOD (mg/L)	6.20±0.69	37.00±1.73	82.00±3.46	370.00±34.64
SS (mg/L)	11.33±1.04	91.81±55.80	198.67±28.59	253.33±1.15
TKN (mg/L)	233.45±0.00	2,381.19±80.87	4,995.83±0.00	8,077.37±0.00



ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพของไข่น้ำในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างกัน

จากการทดลองใช้จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรยังไม่ผ่านระบบที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 และ 15% นั้นความเข้มข้นของน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 5% พืชทั้ง 3 ชนิดสามารถลดค่า COD BOD SS และ TKN ได้ดีมากที่สุด ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่พืชลอยน้ำสามารถบำบัดมีประสิทธิภาพได้มากที่สุด

4.3 ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำ

คุณค่าทางโภชนะการ และผลผลิตของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดเบื้องต้น

โภชนะการของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดที่ตรวจวัดก่อนการทดลอง โดยทุกพืชได้ตรวจวัดหาค่าคือ น้ำหนักสด (WW) น้ำหนักแห้ง (DW) ความชื่น (Moisture) วัตถุแห้ง (DM) แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) โปรตีนหยาบ (CP) เยื่อใยหยาบ (CF) และ พลังงาน (GE) ซึ่งค่าโภชนะการของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดก่อนการทดลองมีค่าที่ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะจอกมีโปรตีน เยื่อใย และพลังงานมีค่ามากกว่า แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ ส่วนแคลเซียม แหนเป็ดใหญ่มีค่าสูง ส่วนฟอสฟอรัสไข่น้ำจะมีค่าโชนะที่สูงกว่าจอก และแหนเป็ดใหญ่ ดังแสดงตารางที่ 29

ตารางที่ 29 โภชนะของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดเบื้องต้น

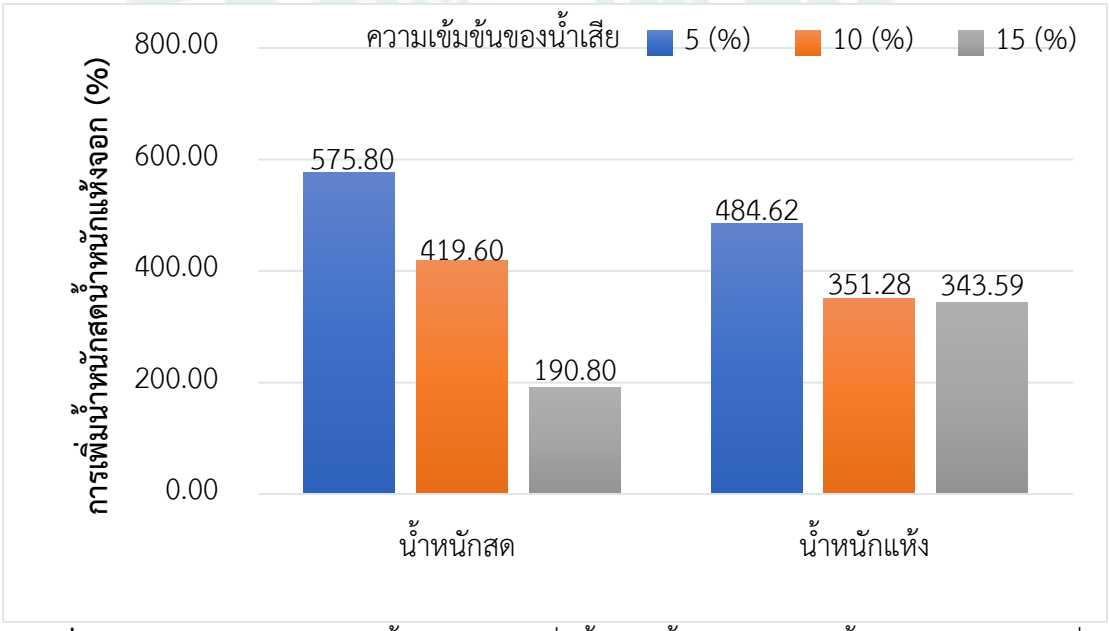
Parameter	จอก	แหนเป็ดใหญ่	ไข่น้ำ
WW (g)	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
DW (g)	0.26±0.06	0.31±0.04	0.13±0.06
Moisture (%)	6.13±0.04	6.43±0.21	7.19±0.04
DM (%)	93.87±0.06	93.58±0.21	92.82±0.04
Ca (%)	1.39±0.18	2.97±0.13	1.62±0.41
P (%)	0.83±0.01	1.98±0.00	3.06±0.03
CP (%)	30.35±0.38	26.16±0.06	26.06±0.23
CF (%)	13.93±0.44	9.49±0.13	9.77±0.01
GE (Kcal/kg)	3,822.84±0.04	3,620.09±1.13	3,717.07±9.25

4.3.1 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของจอก

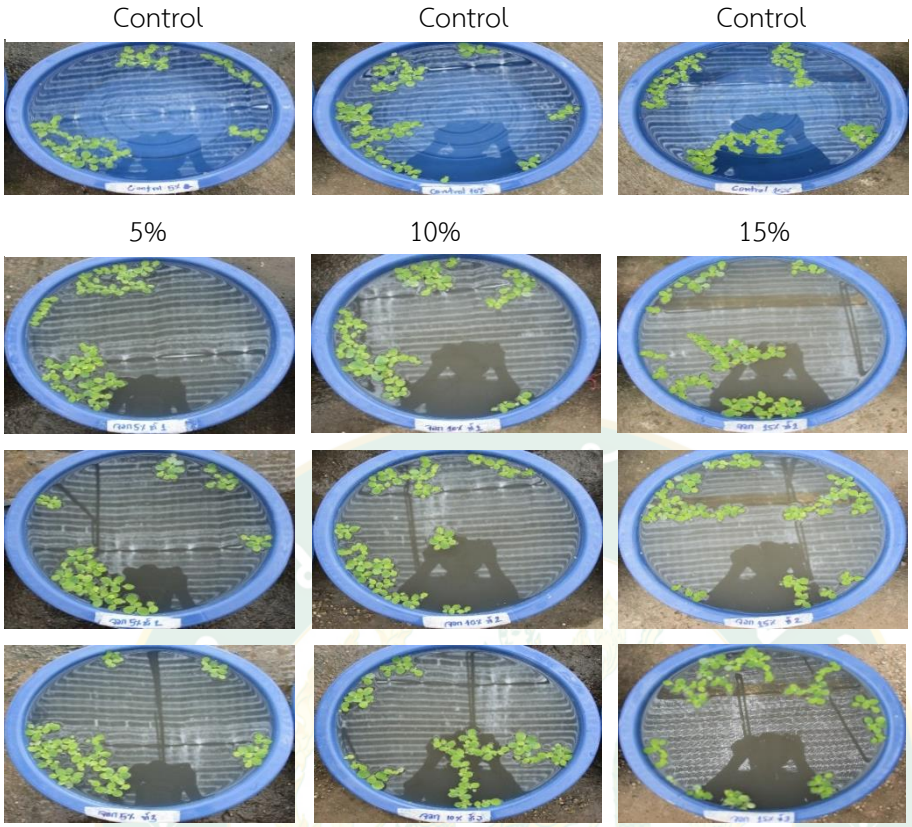
1) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของจอก

ตลอดการทดลอง 14 วัน พบว่า จอกที่เลี้ยงในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรมีการมีน้ำหนักสด โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดอยู่ในทุกความความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% โดยมีน้ำหนักสดเริ่มต้นจาก 5.00±0.00g เมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำหนักสดเฉลี่ย 33.79±3.73 กรัม, โดย

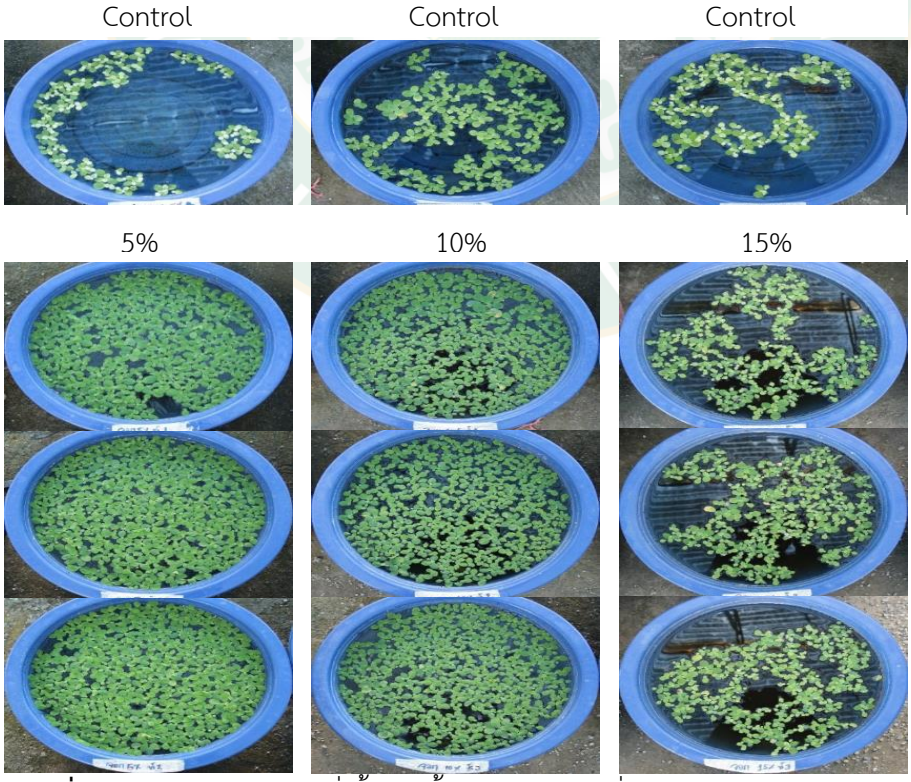
เพิ่มขึ้น 28.79 กรัม, คิดเป็นร้อยละ 575.80 รองลงมาความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีน้ำหนักสดเท่ากับ 25.98±1.70 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 20.98 กรัม คิดเป็นร้อยละ 419.60 และน้ำหนักสดที่อยู่ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 14.54±0.42 กรัม โดยเพิ่มขึ้น 9.54 กรัม คิดเป็นร้อยละ 190.60 ส่วนชุดควบคุมน้ำหนักสดมีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นของของน้ำเสีย 15% ตามลำดับ (ภาพที่ 29 ตาราง 30) ส่วนน้ำหนักแห้งจอกจากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียทุกระดับมีค่าน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น โดยจากค่าน้ำหนักแห้งเริ่มต้นทุกระดับมีค่าเท่ากับ 0.26±0.06 กรัม แต่ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ทำให้น้ำหนักแห้งจอกเพิ่มมากที่สุด คือ 5% มีค่าเท่ากับ 1.52±0.14 กรัม, ซึ่งเพิ่มขึ้น 1.26 กรัม คิดเป็นร้อยละ 484.62 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่าเท่ากับ 1.17±0.09 กรัม เพิ่มขึ้น 0.91 กรัม คิดเป็นร้อยละ 351.28 และความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 1.15±0.74 กรัม เพิ่มขึ้น 0.89 กรัม คิดเป็นร้อยละ 343.59 ตามลำดับ (ภาพที่ 29 ตาราง 30) น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของจอกที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรมีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นมากโดยมีการเชื่อมโยงกับระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย และประสิทธิภาพของจอกที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีในความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% ทำให้จอกมีการเจริญเติบโต และให้น้ำหนักสดและแห้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากสารอินทรีย์ในความนี้มีความเหมาะสมที่จอกดำลงชีวิตและเจริญเติบโตได้ดีในเวลา 14 วัน ส่วนความเข้มข้น 10% และ 15% จอกมีการเจริญเติบโตช้า เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำค่อนข้างมาก และปริมาณการใส่จอกในแต่ละความเข้มข้น จึงทำให้จอกที่อยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นมากทำให้การเจริญเติบโตขึ้นไม่เต็มที่ในเวลา 14 วัน ภาพที่ 30 และ 31



ภาพที่ 29 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของจอกที่ได้จากก่อน และหลังทดลอง



ภาพที่ 30 จอกที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันในวันแรกของการทดลอง



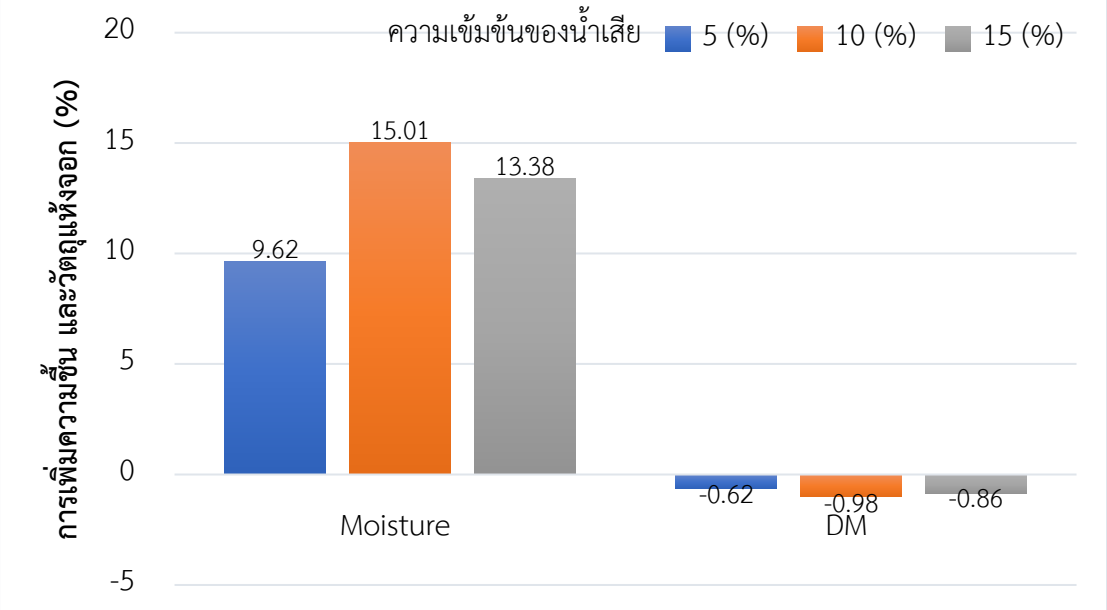
ภาพที่ 31 การเจริญของจอกที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่เวลา 14 วัน

2) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อความชื้นของจอก

จากการทดลอง 14 วัน พบว่า ความชื้นจอกที่เลี้ยงในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรทุกความเข้มข้นมีความชื้นเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้น โดยเพิ่มมากที่สุดในระดับความเข้มข้น 10% โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นจาก 6.13±0.04% และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพิ่มขึ้นเป็น 7.05±0.01% ซึ่งเพิ่มขึ้น 0.92% คิดเป็นร้อยละ 15.01 รองลงมาคือระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 6.95±0.04% โดยเพิ่มขึ้น 0.82% คิดเป็นร้อยละ 13.38 และความเข้มข้น 5% มีค่าเท่ากับ 6.72±0.02% เพิ่มขึ้น 0.59% คิดเป็นร้อยละ 9.62 ดังภาพที่ 32 และตารางที่ 30

3) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อวัตถุแห้งของจอก

จากการทดลอง 14 วัน พบว่าวัตถุแห้งของจอกในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสียหลังการทดลองค่าลดลง และวัตถุแห้งลดลงมากที่สุดในความเข้มข้น 10% โดยวัตถุแห้งจอกเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 93.87±0.06% เมื่อสิ้นสุดการทดลองลดลงเหลือ 92.95±0.01% ซึ่งลดลง 0.92% คิดเป็นร้อยละการลดลง 0.98 รองลงมาในความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 93.06±0.04% ลดลง 0.81% คิดเป็นร้อยละการลดลง 0.86 และความเข้มข้น 5% มีค่าเท่ากับ 93.29±0.02% ลดลง 0.58% คิดเป็นร้อยละการลดลง 0.62 ดังภาพที่ 32 และตารางที่ 30



ภาพที่ 32 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นความชื้น และวัตถุแห้งของจอกที่ได้จากก่อนและหลังทดลอง

4) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะแคลเซียม (Ca) ของจอก

จากการทดลองการใช้จอกบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ Ca ที่มีอยู่ในจอกโดยวัตถุแห้ง 100°C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ค่า Ca เพิ่มขึ้นทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ Ca ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% โดยมีค่า Ca เริ่มต้นเท่ากับ 1.39±0.18% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.60±0.13% ซึ่งเพิ่มเป็น 0.21% คิดเป็นร้อยละ 15.11 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเท่ากับ 1.55±0.06% โดยเพิ่มขึ้น 0.16% คิดเป็นร้อยละ 11.51 และความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 1.47±0.05 % เพิ่มขึ้นเป็น 0.08% คิดเป็นร้อยละ 5.76 ตามลำดับ (ตารางที่ 30 และภาพที่ 33) ซึ่งค่า Ca จากการทดลองให้ผลสูงกว่าค่า Ca จากการรายงานของ (Ross, 2007) & (กองอาหารสัตว์, 2552)

5) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะฟอสฟอรัส (P) ของจอก

จากการทดลองการใช้จอกบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ P ที่มีอยู่ในจอกโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า P ของจอกเพิ่มขึ้นทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ P ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% โดยมีค่า P เริ่มต้นเท่ากับ 0.83±0.01% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.56±0.04% ซึ่งเพิ่มเป็น 0.73% คิดเป็นร้อยละ 87.95 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 1.42±0.01% โดยเพิ่มขึ้น 0.59% คิดเป็นร้อยละ 71.08 และความเข้มข้น 10% มีค่าเท่ากับ 1.30±0.01% เพิ่มขึ้นเป็น 0.08% คิดเป็นร้อยละ 56.63 ตามลำดับ (ตารางที่ 30 และภาพที่ 33) ซึงค่า P จากการทดลองให้ผลสูงกว่าค่า P จากคู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมืองของ (กองอาหารสัตว์, 2552)

6) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะโปรตีน (CP) ของจอก

จากการทดลองการใช้จอกบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ CP ที่มีอยู่ในจอกโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า CP มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ CP ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% โดยมีค่า CP เริ่มต้นเท่ากับ 30.35±0.38% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 35.70±0.25% ซึ่งเพิ่มเป็น 5.35% คิดเป็นร้อยละ 17.63 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่าเท่ากับ 35.02±0.04% โดยเพิ่มขึ้น 4.67% คิดเป็นร้อยละ 15.39 และความเข้มข้น 5% มีค่าเท่ากับ 31.36±0.01% เพิ่มขึ้นเป็น 1.01% คิดเป็นร้อยละ 3.33 ตามลำดับ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า CP เพิ่มขึ้นตาม (ตารางที่ 30 และภาพที่

33) ซึงค่า CP จากการทดลองให้ผลสูงกว่าค่า CP จากการรายงานของ (Ross, 2007) และของ (พงษ์ชาญ, 2556) สูงกว่างานของ (Venning, 2001) และของ (Weirich et al., 2020)

7) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะเยื่อใย (CF) ของจอก

จากการทดลองการใช้จอกบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ CF ที่มีอยู่ในจอกโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า CF มีค่าลดลงทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ CF ที่ลดลงมากที่สุดคือในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% โดยมีค่า CF เริ่มต้นเท่ากับ 13.93±0.44% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเท่ากับ 10.70±0.04% ซึ่งลดลงเป็น 3.23% คิดเป็นร้อยละ 23.19 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเท่ากับ 10.73±0.01% โดยลดลง 3.20% คิดเป็นร้อยละ 22.97 และความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 11.56±0.19% ลดลงเป็น 2.37% คิดเป็นร้อยละ 17.01 ตามลำดับ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า CF ลดลงตาม (ตารางที่ 30 และภาพที่ 33) ซึงค่า CF จากการทดลองให้ผลต่ำกว่าค่า CF จากการรายงานของ (พงษ์ชาญ, 2556) แต่ให้ผลมากกว่าความต้องการของไก่จากคู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมืองของ (กองอาหารสัตว์, 2546)

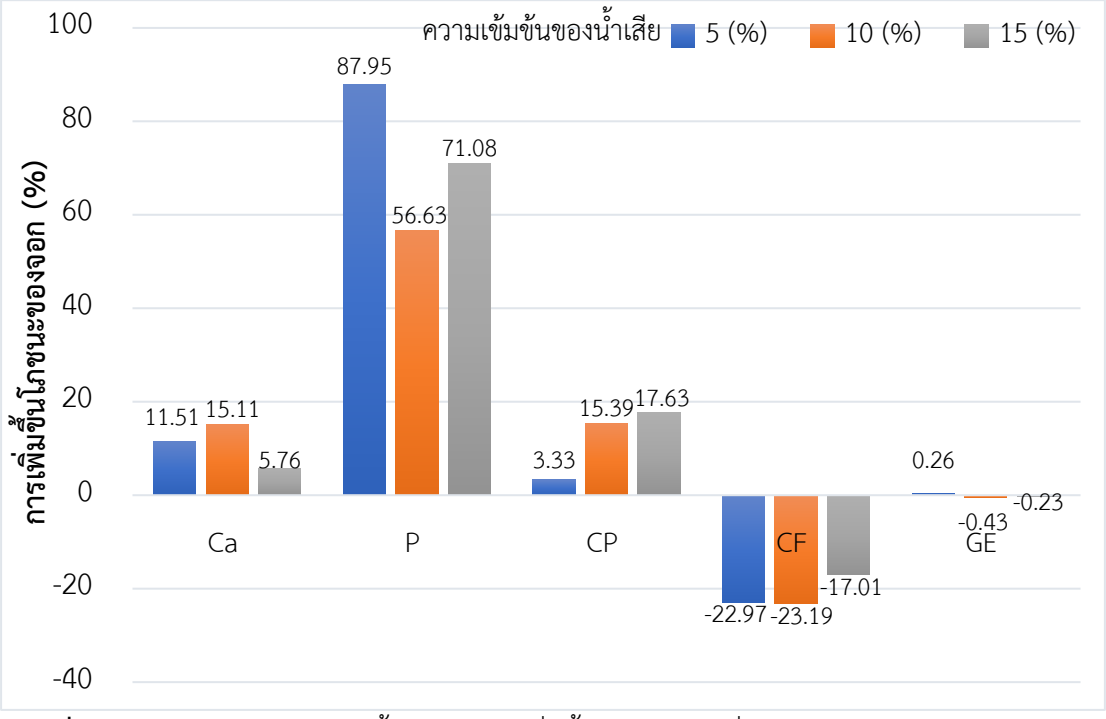
8) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะพลังงาน (GE) ของจอก

จากการทดลองการใช้จอกบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ GE ที่มีอยู่ในจอกโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า GE มีค่าเพิ่มขึ้นในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% โดยมีค่า GE เริ่มต้นเท่ากับ 3,822.84±0.04 Kcal/kg เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเท่ากับ 3,832.88±4.44 Kcal/kg ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 10.04 Kcal/kg คิดเป็นร้อยละ 0.26 ส่วนในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% และ 15% มีค่า GE ลดลงเท่ากับ 3,806.35±0.58 Kcal/kg โดยลดลง 16.49 Kcal/kg, 85.27 Kcal/kg คิดเป็นร้อยละ 0.43 และ 2.23 เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า GE ลดลงตาม (ตารางที่ 30 และภาพที่ 33) ซึ่งค่า GE จากการทดลองให้ผลมากกว่าค่า GE ที่ไก่มีความต้องการของคู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมือง (กองอาหารสัตว์, 2546; 2552)

ตารางที่ 30 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อโภชนะของจอกที่เวลา 14 วัน

Parameter	ความเข้มของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)				SEM	P-value
	0	5	10	15		
WW (g)	13.95±3.47^{c}	33.79±3.73^{a}	25.98±1.70^{b}	14.54±0.42^{c}	2.59	0.000
DW (g)	0.62±0.09^{bc}	1.52±0.14^{a}	1.17±0.09^{ab}	1.15±0.74^{ab}	0.14	0.105
Moisture (%)	6.13±0.06^{d}	6.72±0.02^{c}	7.05±0.01^{a}	6.95±0.04^{b}	0.13	0.000
DM (%)	93.87±0.06^{a}	93.29±0.02^{b}	92.95±0.01^{d}	93.06±0.04^{c}	0.13	0.000
Ca (%)	1.39±0.18^{a}	1.55±0.06^{a}	1.60±0.13^{a}	1.47±0.05^{a}	0.04	0.412
P (%)	0.83±0.01^{d}	1.56±0.04^{a}	1.30±0.01^{c}	1.42±0.01^{b}	0.10	0.000
CP (%)	30.35±0.38^{d}	31.36±0.01^{c}	35.02±0.04^{b}	35.70±0.25^{a}	0.87	0.000
CF (%)	13.93±0.44^{a}	10.73±0.01^{c}	10.70±0.04^{c}	11.56±0.19^{b}	0.50	0.000
GE (Kcal/Kg)	3,822.84±0.04^{a}	3,832.88±4.44^{a}	3,806.35±0.58^{b}	3,737.57±9.22^{c}	14.13	0.000

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

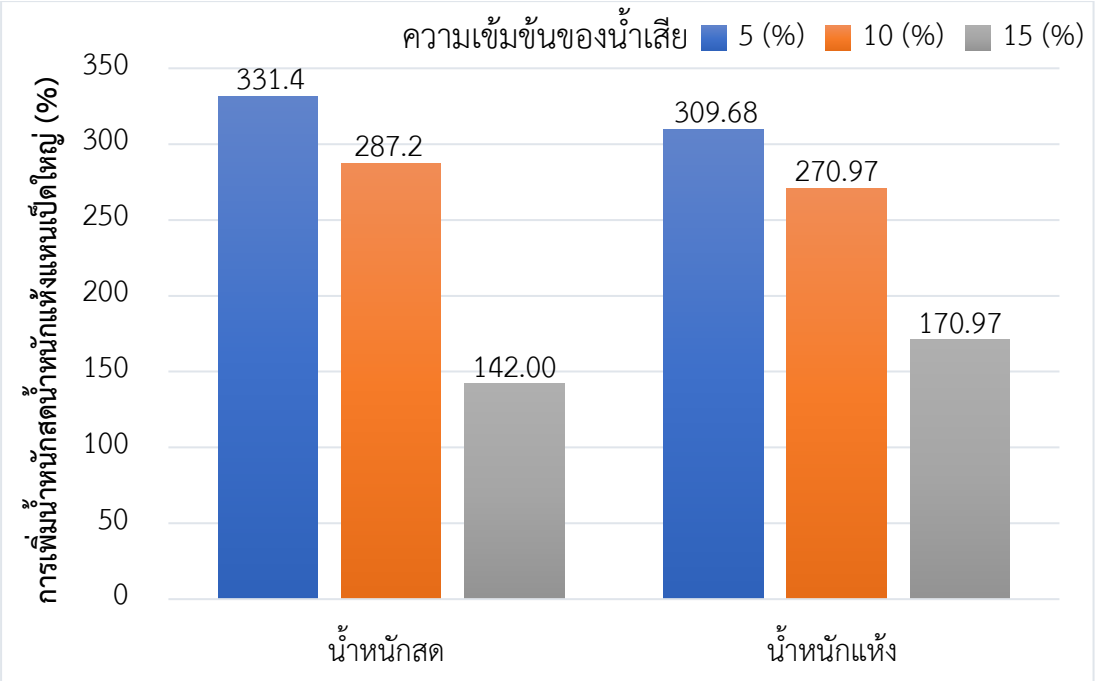


ภาพที่ 33 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นโภชนะจอกที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง

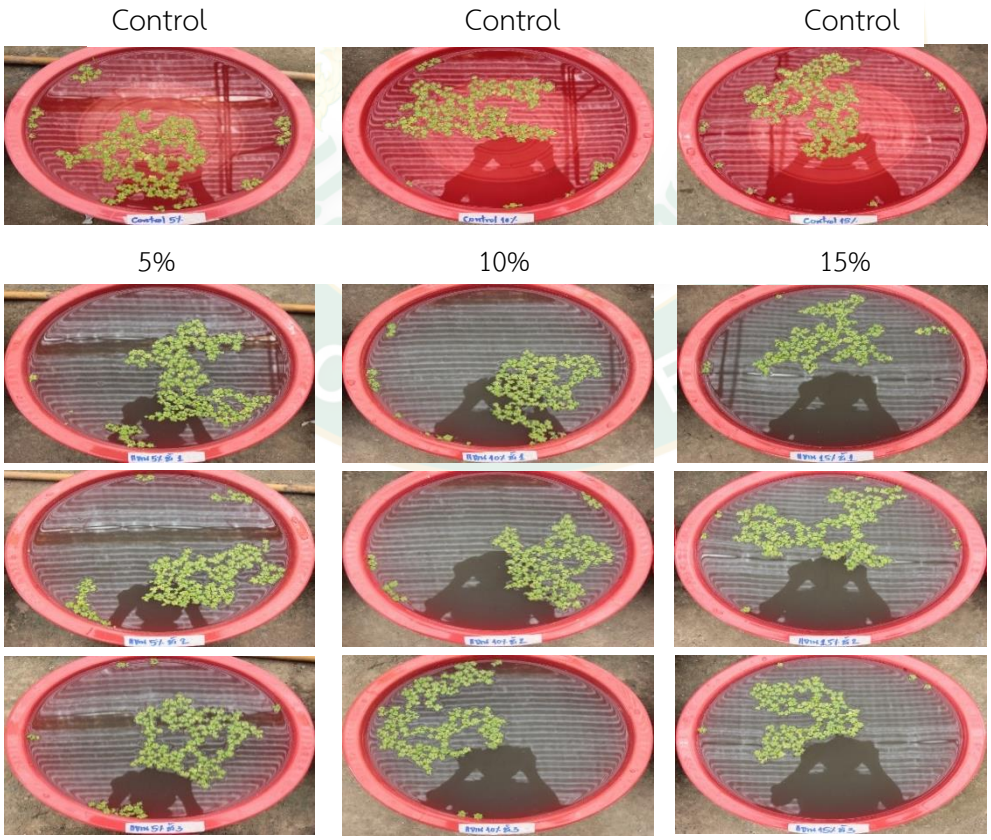
4.3.2 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของแหนเป็ดใหญ่

1) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดใหญ่

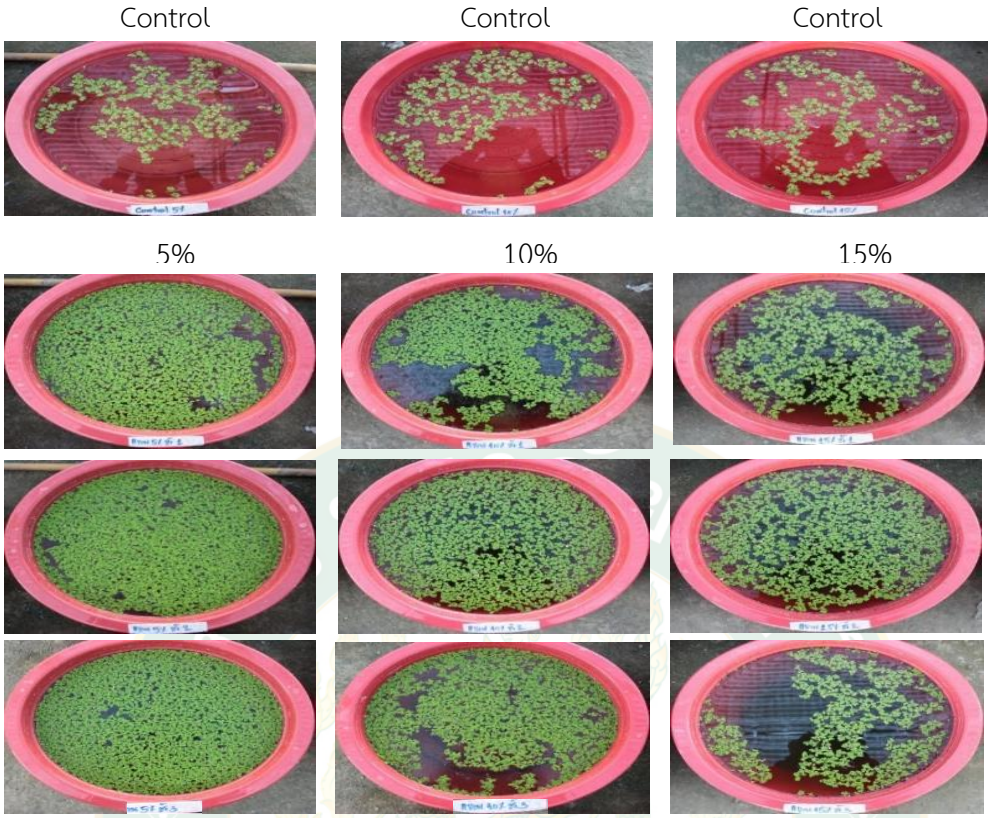
ตลอดการทดลอง 14 วัน พบว่า น้ำหนักสดแหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตโดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดอยู่ในทุกความความเข้มข้นของน้ำเสีย และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% และ 10% โดยมีน้ำหนักสดเริ่มต้นจาก 5.00±0.00 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำหนักสดเฉลี่ย 21.57±4.23 กรัม โดยเพิ่มขึ้น 16.57 กรัม คิดเป็นร้อยละ 331.40 ความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีน้ำหนักสดเท่ากับ 19.36±3.98 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 14.36 กรัม คิดเป็นร้อยละ 287.20 และน้ำหนักสดที่อยู่ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 12.10±2.60 กรัม โดยเพิ่มขึ้น 7.10 กรัม คิดเป็นร้อยละ 142.00 ตามลำดับ ให้ผลมากกว่างานวิจัยของ (ณัฐสิมา, 2553) (ภาพที่ 34 และตารางที่ 31) ส่วนน้ำหนักแห้งแหนเป็ดใหญ่จากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียทุกระดับมีค่าน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น โดยจากค่าน้ำหนักแห้งเริ่มต้นทุกระดับมีค่าเท่ากับ 0.31±0.04 กรัม แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองความเข้มข้นของน้ำเสียที่ทำให้น้ำหนักแห้งแหนเป็ดใหญ่เพิ่มมากที่สุด คือ 5% และ 10% มีค่าเท่ากับ 1.27±0.09 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 0.96 กรัม คิดเป็นร้อยละ 309.68 ความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่าเท่ากับ 1.15±0.20 กรัม เพิ่มขึ้น 0.84 กรัม คิดเป็นร้อยละ 270.97 และความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 0.84±0.16 กรัม เพิ่มขึ้น 0.53 กรัม คิดเป็นร้อยละ 170.97 ตามลำดับ (ภาพที่ 34 และตารางที่ 31) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นมากโดยมีการเชื่อมโยงกับระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย และประสิทธิภาพของจอกที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีในความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% ทำให้แหนเป็ดใหญ่มีการเจริญเติบโต และให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากสารอินทรีย์ความเหมาะสมทำให้แหนเป็ดใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในเวลา 14 วัน ส่วนความเข้มข้น 10% และ 15% นั้นพบว่าแหนเป็ดใหญ่มีการเจริญเติบโตช้า เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำค่อนข้างมาก และปริมาณการใส่แหนเป็ดใหญ่ไม่เพียงพอ จึงทำให้แหนเป็ดใหญ่ที่อยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นมากเจริญเติบโตขึ้นช้าในเวลา 14 วัน ภาพที่ 35 และ 36



ภาพที่ 34 ความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นน้ำหนักสด และแห้งแหนเป็ดใหญ่ที่ได้จากก่อนและหลัง



ภาพที่ 35 แหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันในวันแรกของการทดลอง



ภาพที่ 36 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรระดับต่างกันที่เวลา 14 วัน

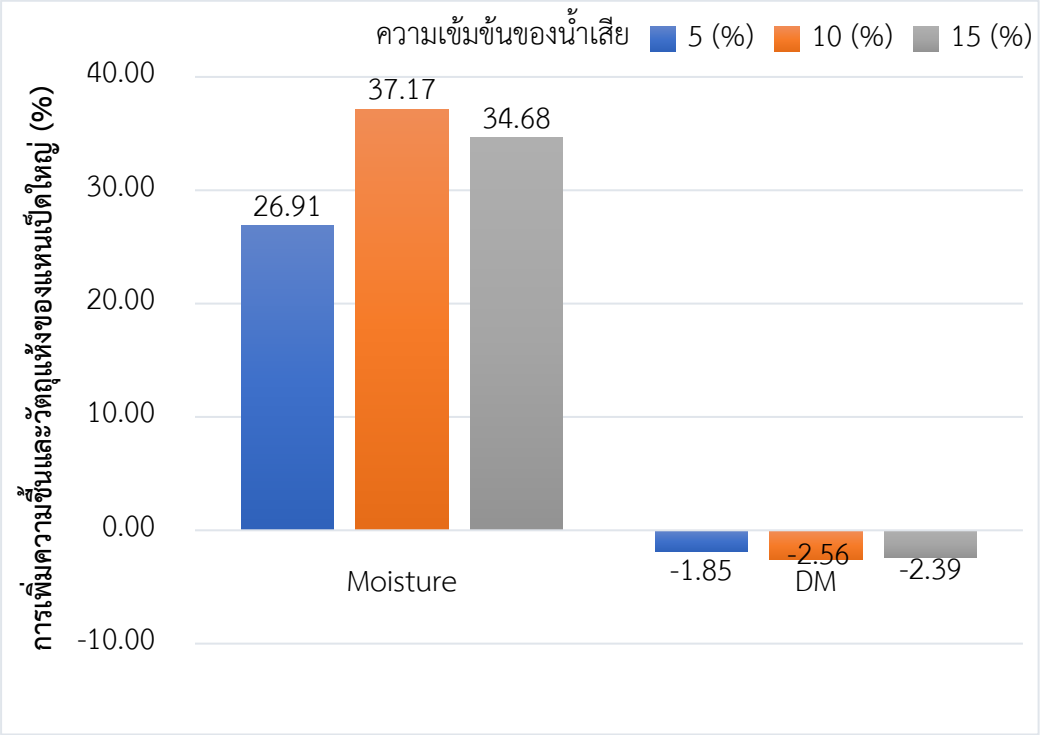
2) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อความชื้นของแหนเป็ดใหญ่

จากการทดลอง 14 วัน พบว่า ความชื้นของแหนเป็ดใหญ่ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรทุกความเข้มข้นมีความชื้นเพิ่มขึ้นทุกระดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ค่าที่เพิ่มมากที่สุดในความเข้มข้น 10% และ 15% โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นจาก 6.43±0.21% เมื่อสิ้นสุดการทดลองเพิ่มขึ้นเป็น 8.82±0.06% ซึ่งเพิ่มขึ้น 2.39% คิดเป็นร้อยละ 37.17 ความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 8.66±0.01% โดยเพิ่มขึ้น 2.23% คิดเป็นร้อยละ 34.68 และความเข้มข้น 5% มีค่าเท่ากับ 8.16±0.02% เพิ่มขึ้น 1.73% คิดเป็นร้อยละ 26.91 ภาพที่ 37 และตารางที่ 31

3) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อวัตถุแห้งของแหนเป็ดใหญ่

วัตถุแห้งของแหนเป็ดใหญ่จากการทดลอง พบว่า ทุกความเข้มข้นของน้ำเสียมีวัตถุแห้งลดลง และวัตถุแห้งลดลงมากที่สุดในระดับความเข้มข้น 10% และ 15% โดยวัตถุแห้งของแหนเป็ดใหญ่เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 93.58±0.21% เมื่อสิ้นสุดการทดลองลดลงเหลือ 91.18±0.06% ซึ่งลดลง 2.40% คิดเป็นร้อยละการลดลง 2.56 ความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 91.34±0.01% ลดลง 2.24%

คิดเป็นร้อยละการลดลง 2.39 และความเข้มข้น 5% มีค่าเท่ากับ 91.85±0.02% ลดลง 1.73% คิดเป็นร้อยละการลดลง 1.85 ดัง ภาพที่ 37 และตารางที่ 31



ภาพที่ 37 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นความชื้น และวัตถุแห้งของแหนเป็ดใหญ่ที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง

4) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะแคลเซียม (Ca) ของแหนเป็ดใหญ่

จากการทดลองการใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ Ca ที่มีอยู่ในแหนเป็ดใหญ่โดยวัตถุแห้ง 100°C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ค่า Ca ลดลงทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ลดลงในระดับที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่า Ca เริ่มต้นเท่ากับ 2.97±0.13% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า Ca ของความเข้มข้น 5% เท่ากับ 1.41±0.30% ซึ่งลดลงเป็น 1.56% คิดเป็นร้อยละ 52.53 ค่า Ca ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่าเท่ากับ 1.61±0.14% โดยลดลง 1.36% คิดเป็นร้อยละ 45.79 และความเข้มข้น 15% มีค่า Ca เท่ากับ 1.43±0.16% ลดลงเป็น 1.54% คิดเป็นร้อยละ 51.85 (ตารางที่ 31 และภาพที่ 38) ซึ่งค่า Ca ของแหนเป็ดใหญ่ลดลงทุกระดับแต่ผลการทดลองสูงกว่าค่า Ca จากการรายงานของ (Ross, 2007) ของ (กองอาหารสัตว์, 2546; 2552) และผลการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% ให้ค่า Ca สูงกว่างานวิจัยของ (ครรชิต และคณะ, 2558) ที่เลี้ยงแหนแดงในช่วงเวลา 0 7 14 และ 21 วัน โดยมีค่า Ca เท่ากับ 2.03, 1.20, 1.52 และ 1.94%

5) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะฟอสฟอรัส (P) ของแหนเป็ดใหญ่

จากการทดลองการใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ P ที่มีอยู่ในแหนเป็ดใหญ่โดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า P ของแหนเป็ดใหญ่เพิ่มขึ้นในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% และ 15% โดยมีค่า P เริ่มต้นเท่ากับ 1.98±0.00% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.35±0.01% ซึ่งเพิ่มเป็น 0.37% คิดเป็นร้อยละ 18.69% ความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 2.26±0.04% โดยเพิ่มขึ้น 0.28% คิดเป็นร้อยละ 14.14 ส่วนความเข้มข้น 5% มีค่า P ลดลงเท่ากับ 1.91±0.04 % ลดลงเป็น 0.07% คิดเป็นร้อยละ 3.54 (ตารางที่ 31 และภาพที่ 38) ซึ่งค่า P ในการทดลองนี้มีการลดลงบางความเข้มข้น สอดคล่องกับงานวิจัยของ (ณัฐสิมา, 2553) แต่ค่าการทดลองก็ยังสูงกว่าค่า P ที่ไก่ต้องการโภชนะจากคู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมืองของ (กองอาหารสัตว์, 2546; 2552) และจากงานวิจัยของ (Zhao *et al.,* 2014)

6) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะโปรตีน (CP) ของแหนเป็ดใหญ่

จากการทดลองการใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ CP ที่มีอยู่ในแหนเป็ดใหญ่โดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า CP มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ CP ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% โดยมีค่า CP เริ่มต้นเท่ากับ 26.16±0.06% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 30.93±0.13% ซึ่งเพิ่มเป็น 4.77% คิดเป็นร้อยละ 18.23 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่าเท่ากับ 29.46±0.11% โดยเพิ่มขึ้น 3.30% คิดเป็นร้อยละ 12.61% และความเข้มข้น 5% มีค่าเท่ากับ 28.43±0.18% เพิ่มขึ้นเป็น 2.27% คิดเป็นร้อยละ 8.68 ตามลำดับ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า CP เพิ่มขึ้นตาม (ตารางที่ 31 และภาพที่ 38) ซึงค่า CP จาการทดลองให้ผลสูงกว่าค่า CP จากการรายงานของ (Ross, 2007) และของ (Zhao *et al.,* 2014) และ (Venning, 2001)

7) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะเยื่อใย (CF) ของแหนเป็ดใหญ่

จากการทดลองการใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ CF ที่มีอยู่ในแหนเป็ดใหญ่โดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า CF มีค่าลดลงทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ลดลงในค่าที่ใกล้เคียงกันโดยค่า CF เริ่มต้นเท่ากับ 9.49±0.13% เมื่อสิ้นสุดการทดลองแหนเป็ดใหญ่ที่อยู่ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเท่ากับ 7.72±0.03% ซึ่งลดลงเป็น 1.77% คิดเป็นร้อยละ 18.65 ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่าเท่ากับ 7.80±0.24% โดยลดลง 1.69% คิดเป็นร้อยละ

17.81 และความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 7.16±0.46% ลดลงเป็น 2.33% คิดเป็นร้อยละ 24.55 เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า CF ลดลงตาม (ตารางที่ 31 และภาพที่ 38) ซึ่งค่า CF จาการทดลองให้ผลต่ำกว่าค่า CF รายงานการวิจัยของ (พงษ์ชาญ, 2556) และจากวรสารของของ (ครรชิต และคณะ, 2558) แต่ให้ผลมากกว่าที่ไก่มีความต้องการ จากคู่มือการเลี้ยงไก่ของ (กองอาหารสัตว์, 2546)

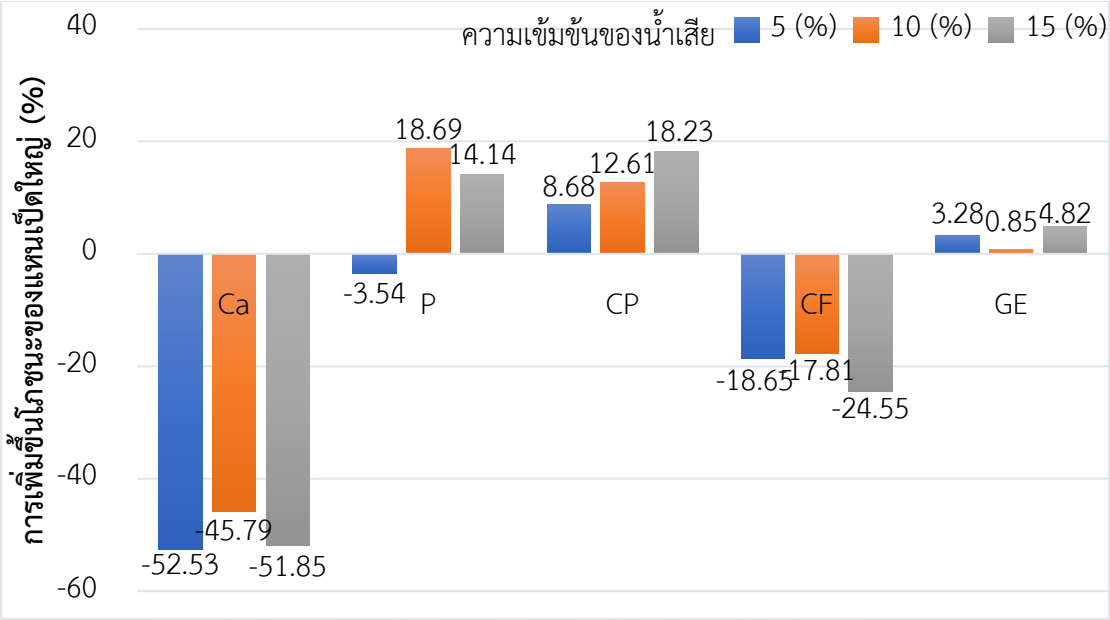
8) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะพลังงาน (GE) ของแหนเป็ดใหญ่

จากการทดลองการใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ GE ที่มีอยู่ในแหนเป็ดใหญ่โดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า GE มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ค่า GE ที่แหนเป็ดใหญ่เพิ่มมากที่สุดในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% โดยมีค่า GE เริ่มต้นเท่ากับ 3,620.09±1.13 Kcal/kg เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 3,794.61±5.61 Kcal/kg ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 174.52 Kcal/kg คิดเป็นร้อยละ 4.82 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่า GE เท่ากับ 3,738.91±26.85 Kcal/kg โดยเพิ่มขึ้น 118.82 Kcal/kg คิดเป็นร้อยละ 3.28 และความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่า GE เท่ากับ 3,651.02±2.39 Kcal/kg ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 30.93 Kcal/kg คิดเป็นร้อยละ 0.82 เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า GE เพิ่มขึ้นตาม (ตารางที่ 31 ภาพที่ 38) ซึ่งค่า GE จาการทดลองให้ผลมากกว่าค่า GE จากคู่มือการของไก่ของ (กองอาหารสัตว์, 2546; 2552)

ตารางที่ 31 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียที่ไม่ผ่านระบบต่อโภชนะแหนเป็ดใหญ่ที่เวลา 14 วัน

Parameter	ความเข้มของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)				SEM	P-value
	0	5	10	15		
WW (g)	9.25±0.16^{b}	21.57±4.23^{a}	19.36±3.98^{a}	12.10±2.60^{b}	1.71	0.004
DW (g)	0.76±0.03b	1.27±0.09^{a}	1.15±0.20^{a}	0.84±0.16^{b}	0.07	0.005
Moisture (%)	6.43±0.21^{c}	8.16±0.02^{b}	8.82±0.06^{a}	8.66±0.01^{a}	0.36	0.000
DM (%)	93.58±0.21a	91.85±0.02^{b}	91.18±0.06^{c}	91.34±0.01^{c}	0.36	0.000
Ca (%)	2.97±0.13^{a}	1.41±0.30^{b}	1.61±0.14^{b}	1.43±0.16^{b}	0.25	0.003
P (%)	1.98±0.00^{c}	1.91±0.04^{d}	2.35±0.01^{a}	2.26±0.04^{b}	0.07	0.000
CP (%)	26.16±0.06^{d}	28.43±0.18^{c}	29.46±0.11^{b}	30.93±0.13^{a}	0.66	0.000
CF (%)	9.49±0.13^{a}	7.72±0.03^{b}	7.80±0.24^{b}	7.16±0.46^{b}	0.34	0.004
GE (Kcal/Kg)	3,620.09±1.13^{c}	3,738.91±26.85^{b}	3,651.02±2.39^{c}	3,794.61±5.61^{a}	26.47	0.001

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



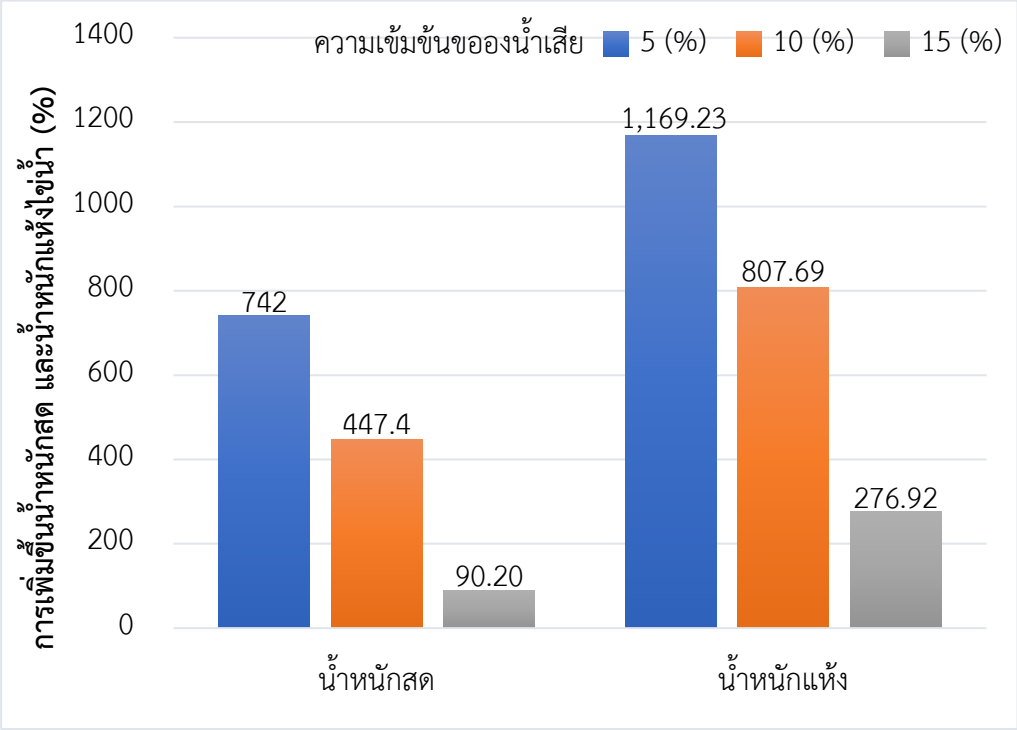
ภาพที่ 38 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นโภชนะของแหนเป็ดใหญ่ที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง

4.3.3 ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของไข่น้ำ

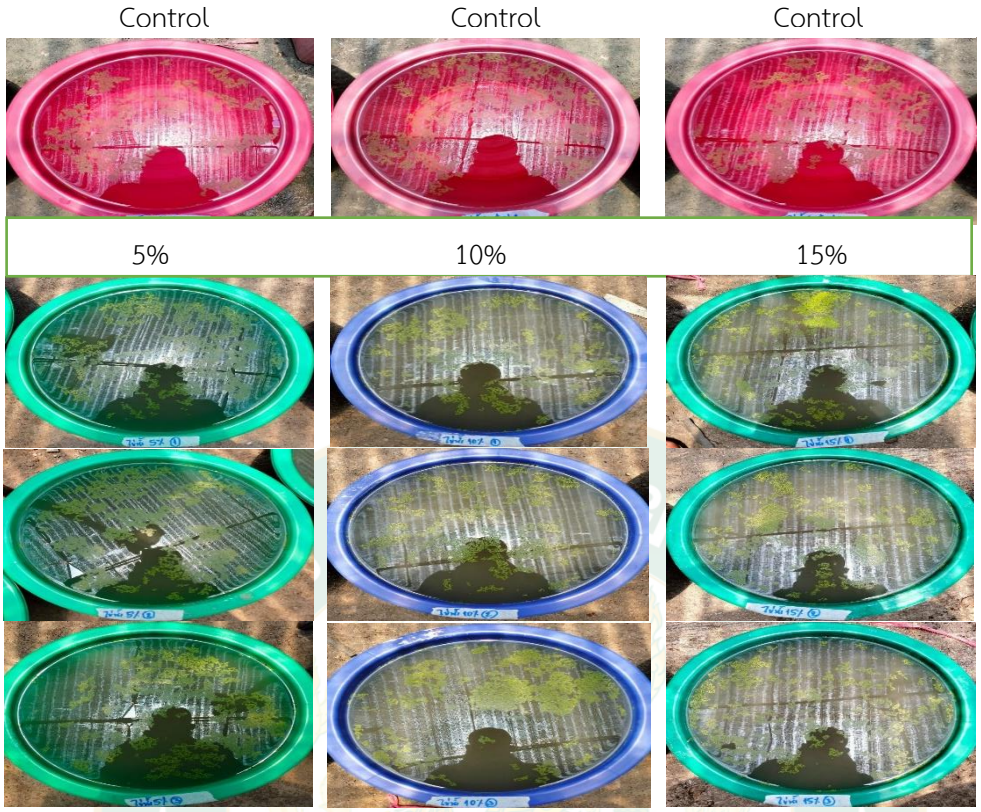
1) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของไข่น้ำ

ตลอดการทดลอง 14 วัน พบว่า ไข่น้ำเจริญเติบโตในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดอยู่ในทุกความความเข้มข้นของน้ำเสีย และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% โดยมีน้ำหนักสดเริ่มต้นจาก 5.00±0.00 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำหนักสดเฉลี่ย 42.10±5.27 กรัม โดยเพิ่มขึ้น 37.10g คิดเป็นร้อยละ 742.00 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีน้ำหนักสดเท่ากับ 27.37±2.6 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 22.37 กรัม คิดเป็นร้อยละ 447.40 และน้ำหนักสดที่อยู่ในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 9.51±1.30 กรัม โดยเพิ่มขึ้น 4.51 กรัม คิดเป็นร้อยละ 90.20 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล่องกับวารสารของ (บุญทิวา และคณะ, 2556) (ภาพที่ 39 และตารางที่ 32) ส่วนน้ำหนักแห้งไข่น้ำจากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียทุกระดับมีค่าน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น โดยจากค่าน้ำหนักแห้งเริ่มต้นทุกระดับมีค่าเท่ากับ 0.13±0.06 กรัม แต่ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ทำให้น้ำหนักแห้งไข่น้ำเพิ่มมากที่สุด คือ 5% มีค่าเท่ากับ 1.65±0.28 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 1.52 กรัม คิดเป็นร้อยละ 1,169.23 ความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% มีค่าเท่ากับ 1.18±0.17g เพิ่มขึ้น 1.05g คิดเป็นร้อยละ 807.69 และความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 0.49±0.03 กรัม เพิ่มขึ้น 0.36 กรัม คิดเป็นร้อยละ 276.92 ตามลำดับ (ภาพที่ 39 ตารางที่ 32) น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรมี

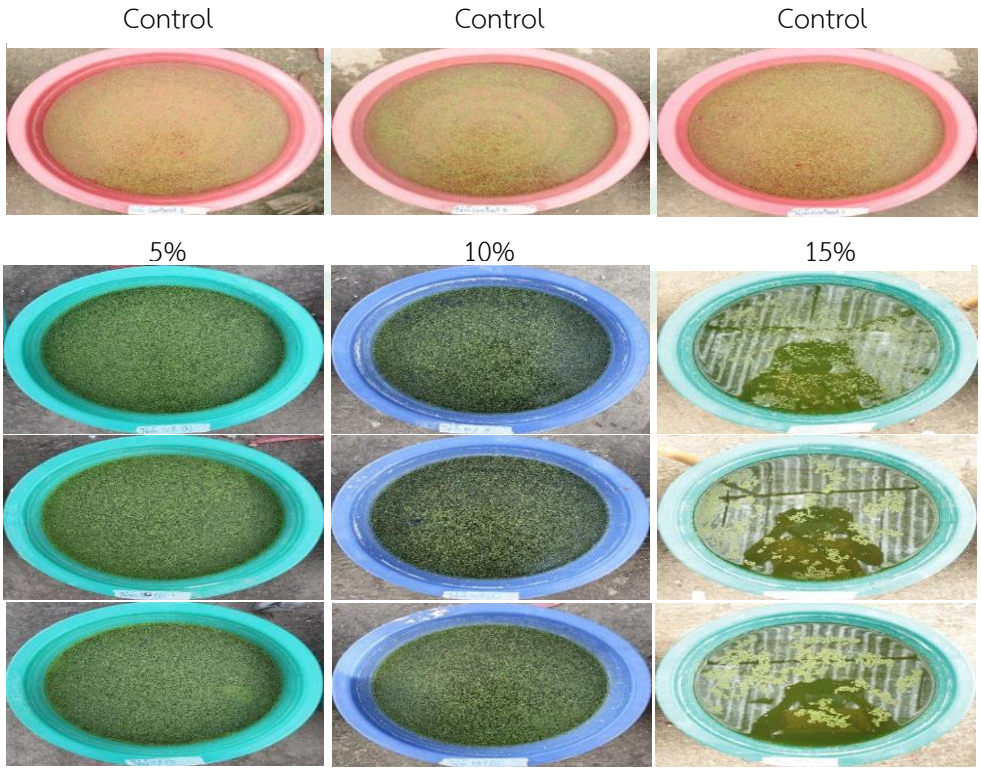
น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นมากโดยมีการเชื่อมโยงกับระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย และประสิทธิภาพของจอกที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีในความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% ทำให้ไข่น้ำมีการเจริญเติบโต และให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากสารอินทรีย์ในความนี้มีความเหมาะสมที่ไข่น้ำดำรงชีวิต และเจริญเติบโตได้ดีในเวลา 14 วัน ส่วนความเข้มข้น 10% และ 15% ไข่น้ำมีการเจริญเติบโตช้า เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำค่อนข้างมาก และปริมาณการใส่ไข่น้ำน้อยในความเข้มข้นดังกล่าว จึงทำให้ไข่น้ำที่อยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นมากเจริญเติบโตขึ้นไม่เต็มที่ในเวลา 14 วัน ภาพที่ 40 และ 41 ดังนี้



ภาพที่ 39 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของไข่น้ำที่ได้จากก่อนและหลังการทดลอง



ภาพที่ 40 ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่างกันในวันแรกของการทดลอง



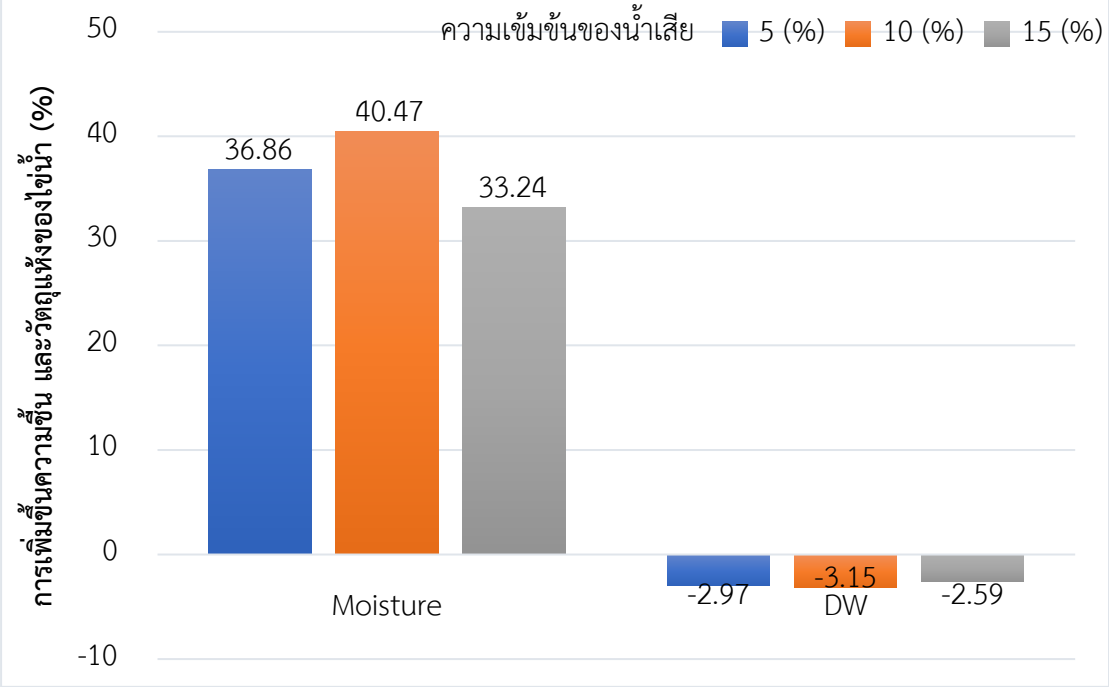
ภาพที่ 41 การเจริญเติบโตของไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ระดับต่างกันที่เวลา 14 วัน

2) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อความชื้นของไข่น้ำ

จากการทดลอง 14 วัน พบว่า ความชื้นไข่น้ำที่เลี้ยงในความเข้มข้นของน้ำเสียฟาร์มสุกรทุกความเข้มข้นมีความชื้นเพิ่มขึ้นทุกระดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ค่าที่เพิ่มมากที่สุดในความเข้มข้น 10% โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นจาก 7.19±0.04 % เมื่อสิ้นสุดการทดลองเพิ่มขึ้นเป็น 10.10±0.01% ซึ่งเพิ่มขึ้น 2.91% คิดเป็นร้อยละ 40.47 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเท่ากับ 9.84±0.11% โดยเพิ่มขึ้น 2.65% คิดเป็นร้อยละ 36.86 และความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 9.58±0.01% เพิ่มขึ้น 2.39% คิดเป็นร้อยละ 33.24 ดังภาพที่ 42 และตารางที่ 32

3) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อวัตถุแห้งของไข่น้ำ

วัตถุแห้งของไข่น้ำจากการทดลอง พบว่า ทุกความเข้มข้นของน้ำเสียไข่น้ำอยู่มีวัตถุแห้งลดลง และลดลงมากที่สุดในระดับความเข้มข้น 10% โดยวัตถุแห้งของไข่น้ำเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 92.82±0.04% เมื่อสิ้นสุดการทดลองลดลงเหลือ 89.90±0.01% ซึ่งลดลง 2.92% คิดเป็นร้อยละการลดลง 3.15 รองลงมาในความเข้มข้น 5% มีค่าเท่ากับ 90.06±0.04% ลดลง 2.76% คิดเป็นร้อยละการลดลง 2.97 และความเข้มข้น 15% มีค่าเท่ากับ 90.42±0.01% ลดลง 2.40% คิดเป็นร้อยละการลดลง 2.59 ดังภาพที่ 42 และตารางที่ 32



ภาพที่ 42 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นความชื้น และวัตถุแห้งของไข่น้ำที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง

4) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะแคลเซียม (Ca) ของไข่น้ำ

จากการทดลองการใช้ไข่น้ำบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ Ca ที่มีอยู่ในไข่น้ำโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า Ca เพิ่มขึ้นในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% โดยมีค่า Ca เริ่มต้นเท่ากับ 1.62±0.41% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า Ca เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.54±0.07% ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 0.92% คิดเป็นร้อยละ 56.79 และความเข้มข้น 10% มีค่า เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยเท่ากับ 1.83±0.25% เพิ่มขึ้นปืน 0.21% คิดเป็นร้อยละ 12.96 ส่วนความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าลดลงเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 1.34±0.17 ซึ่งลดลง 0.28% คิดเป็นร้อยละ 17.28 (ตารางที่ 32 ภาพที่ 43) ซึ่งค่า Ca ของไข่น้ำที่อยู่ในบางความความเข้มข้นของน้ำเสียลดลง แต่ผลการทดลองก็ยังให้ค่า Ca สูงกว่าค่า Ca จากการรายงานของ (Ross, 2007) และจากคู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมืองของ (กองอาหารสัตว์, 2546; 2552)

5) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะฟอสฟอรัส (P) ของไข่น้ำ

จากการทดลองการใช้ไข่น้ำบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะของ P ที่มีอยู่ในไข่น้ำโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า P ของไข่น้ำเพิ่มขึ้นในทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ที่ไข่น้ำเพิ่ม P มากที่สุด 10% และ 15% โดยมีค่า P เริ่มต้นเท่ากับ 3.06±0.03 % เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5.13±0.13%, 5.06±0.17% ซึ่งเพิ่มเป็น 2.07%, 2.00% คิดเป็นร้อยละ 67.65%, 65.36% รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเท่ากับ 4.03±0.01 % โดยเพิ่มขึ้น 0.97% คิดเป็นร้อยละ 31.70% (ตารางที่ 32 รูปที่ 43) ค่า P ในการทดลองนี้ให้ผลการทดลองสูงกว่าค่า P จากคู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมืองของ (กองอาหารสัตว์, 2546; 2552) ที่ไก่ต้องการโภชนะ

6) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะโปรตีน (CP) ของไข่น้ำ

จากการทดลองการใช้ไข่น้ำบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ CP ที่มีอยู่ในไข่น้ำโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า CP มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ CP ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% โดยมีค่า CP เริ่มต้นเท่ากับ 26.06±0.23% เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 38.76±0.11% ซึ่งเพิ่มเป็น 12.70% คิดเป็นร้อยละ 48.73 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% มีค่าเท่ากับ 37.49±0.11% โดยเพิ่มขึ้น 11.43% คิดเป็นร้อยละ 43.86 และความเข้มข้น 10% มีค่าเท่ากับ 35.37±0.11% เพิ่มขึ้นเป็น 9.31% คิดเป็นร้อยละ 35.73 สาเหตุ

ค่าของ CP ของไข่น้ำเพิ่มขึ้นมากในความเข้มข้นของน้ำเสียที่ระดับ 5% เนื่องจากอาดมีไส้เดือนแดงที่เจือปนไปด้วยทำให้ค่าสูงกว่าความเข้มข้นอื่นๆ แต่โดยรวมแล้วเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า CP เพิ่มขึ้นตาม (ตารางที่ 32 ภาพที่ 43) ซึ่งค่า CP จาการทดลองให้ผลสูงกว่าค่า CP จากการรายงานของ (Ross, 2007) ของ (บุญทิวา และคณะ, 2556) และของ (Baidya *et al.,* 2018)

7) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะเยื่อใย (CF) ของไข่น้ำ

จากการทดลองการใช้ไข่น้ำบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ CF ที่มีอยู่ในไข่น้ำโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า CF มีค่าลดลงทุกความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ลดลงในมากที่สุดในความเข้มข้นของน้ำเสีย 15% และ 10% โดบค่า CF เริ่มต้นเท่ากับ 99.77±0.01% เมื่อสิ้นสุดการทดลองไข่น้ำ มีค่าเท่ากับ 7.43±0.29%, 7.74±0.14% ซึ่งลดลงเป็น 2.34%, 2.03% คิดเป็นร้อยละ 23.95, 20.78 รองลงมาในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีค่าเท่ากับ 9.15±0.01% โดยลดลง 0.62% คิดเป็นร้อยละ 6.35 เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทำให้ค่า CF ลดลงตาม (ตารางที่ 32 ภาพที่ 43) ซึ่งค่า CF จาการทดลองให้ผลต่ำกว่าค่า CF จากรายงานวิจัยของ (Baidya *et al.,* 2018) แต่ให้ผลมากกว่าที่ไก่มีความต้องการ จากคู่มือการเลี่ยงไก่พื้นเมืองของ (กองอาหารสัตว์, 2546)

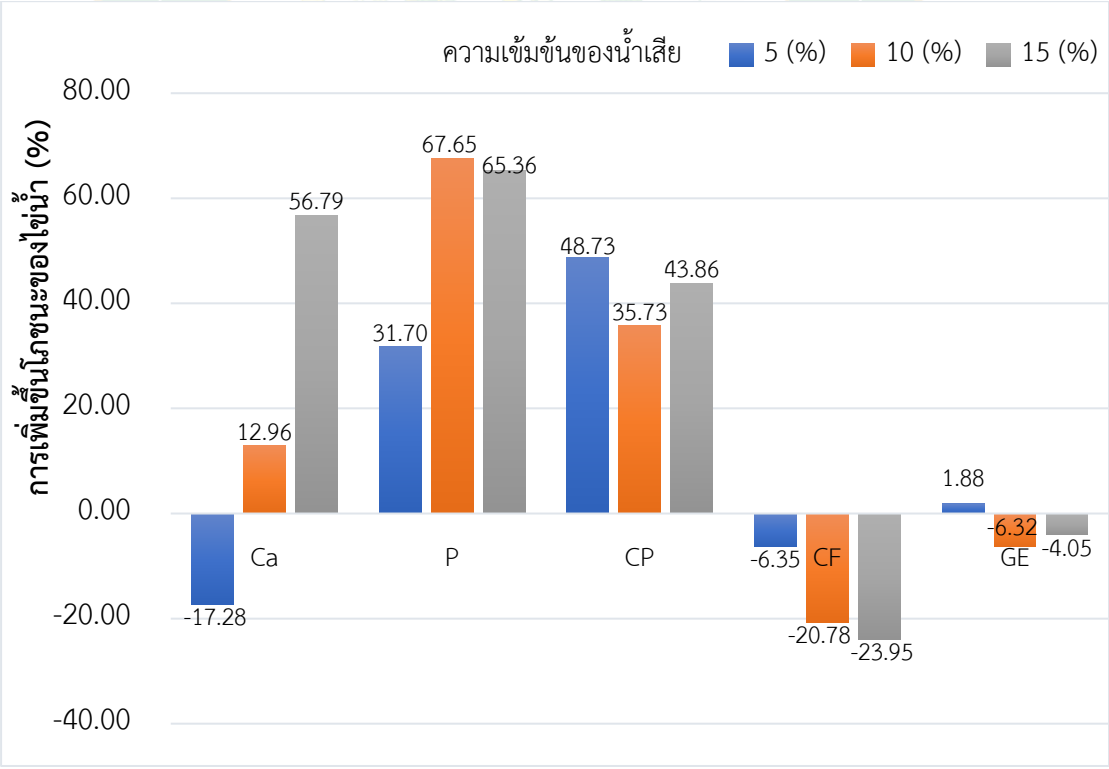
8) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อโภชนะพลังงาน (GE) ของไข่น้ำ

จากการทดลองการใช้ไข่น้ำบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้น 5% 10% และ 15% เป็นเวลา14 วัน พบว่า โภชนะการของ GE ที่มีอยู่ในไข่น้ำโดยวัตถุแห้ง 100°C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า GE มีค่าเพิ่มขึ้นมากในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% โดยมีค่า GE เริ่มต้นเท่ากับ 3,717.07±9.25 Kcal/Kg เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 3,787.13±10.29 Kcal/Kg ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 70.06 Kcal/Kg คิดเป็นร้อยละ 1.88 ส่วนในความเข้มข้นของน้ำเสีย 10% และ 15% มีค่า GE ลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 3,482.20±45.86 Kcal/Kg, 3,566.69±5.25 Kcal/Kg โดยลดลง 234.87 Kcal/Kg, 150.38 Kcal/Kg คิดเป็นร้อยละ 6.32, 4.05 (ตารางที่ 32 ภาพที่ 43) ซึ่งค่า GE บางความเข้มข้นของน้ำเสียลดลงจาการทดลอง แต่ยังให้ผลมากกว่าค่า GE จากคู่มือการเลี้ยงไก่พื้นเมืองของ (กองอาหารสัตว์, 2546; 2552)

ตารางที่ 32 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อโภชนะของไข่น้ำที่เวลา 14 วัน

Parameter	ความเข้มของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)				SEM	P-value
	0	5	10	15		
WW (g)	19.34±1.41^{c}	42.10±5.27^{a}	27.37±2.62^{b}	9.51±1.30^{d}	3.68	0.000
DW (g)	0.97±0.11^{b}	1.65±0.28^{a}	1.18±0.17^{b}	0.49±0.03^{c}	0.13	0.000
Moisture (%)	7.19±0.04^{d}	9.95±0.04^{b}	10.10±0.01^{a}	9.58±0.01^{c}	0.45	0.000
DM (%)	92.82±0.04^{a}	90.06±0.04^{c}	89.90±0.01^{d}	90.42±0.01^{b}	0.45	0.000
Ca (%)	1.62±0.41^{b}	1.34±0.17^{b}	1.83±0.25^{b}	2.54±0.07^{a}	0.18	0.037
P (%)	3.06±0.03^{c}	4.03±0.01^{b}	5.13±0.13^{a}	5.06±0.17^{a}	0.32	0.000
CP (%)	26.06±0.23^{d}	38.76±0.11^{a}	35.37±0.11^{c}	37.49±0.11^{b}	1.88	0.000
CF (%)	9.77±0.01^{a}	9.15±0.01^{b}	7.74±0.14^{c}	7.43±0.29^{c}	0.37	0.000
GE (Kcal/Kg)	3,717.07±9.25^{b}	3,787.13±10.29^{a}	3,482.20±45.86^{d}	3,566.69±5.25^{c}	45.91	0.001

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 43 ระดับความเข้มข้นน้ำเสียต่อการเพิ่มขึ้นของไข่น้ำที่ได้จากก่อน และหลังการทดลอง

จากผลการทดลองระดับความเข้มข้นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนัก และโภชนะของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด พบว่า จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ มีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งและโภชนะที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่า ไข่น้ำสามารถเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และคุณค่าทางโภชนะได้มากกว่าจอก และแหนเป็ดใหญ่ในความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด 5% ซึ่งไข่น้ำมีค่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง แคลเซียม ฟอสฟอรัส โปรตีน และพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 742.00, 1,169.23, -16.85, 31.70, 48.73 และ 1.88 ดังนั้นเกษตรกรสามารถนำไข่น้ำไปบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร จากครัวเรือนที่ยังไม่ผ่านการบำบัดได้ และยังสามารถนำไข่น้ำจากการบำบัดไปเป็นอาหารสัตว์อีกด้วย เนื่องจากไข่น้ำที่บำบัดในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่การบำบัดมีค่าโภชนะสูงเหมาะต่อความต้องการของสัตว์ ซึ่งค่าโภชนะของไข่น้ำแสดงในตาราง 33

ตารางที่ 33 โภชนะของไข่น้ำที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% ในระยะเวลา 14 วัน

Parameter	ความเข้มของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (%)		ร้อยระ
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	
WW (g)	5.00±0.00	42.10±5.27	742.00
DW (g)	0.13±0.06	1.65±0.28	1,169.23
Ca (%)	1.62±0.41	1.34±0.17	-17.28
P (%)	3.06±0.03	4.03±0.01	31.70
CP (%)	26.06±0.23	38.76±0.11	48.73
CF (%)	9.77±0.01	9.15±0.01	-6.35
GE (Kcal/Kg)	3,717.07±9.25	3,787.13±10.29	1.88

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์ โดยการศึกษาประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด และการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดต่อน้ำหนักและโภชนะของพืชลอยน้ำสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการศึกษาพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จอก แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ กัน พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรได้ดีที่สุดในระดับความเข้มข้น 5% สำหรับค่า COD BOD และ SS โดยจอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 88.92, 94.70 และ 85.64 แหนเป็ดใหญ่มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 86.37, 92.24 และ 89.99 และประสิทธิภาพการบำบัดของไข่น้ำมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 72.88, 85.20 และ 76.36 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัด TKN พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นน้ำเสีย 5% แหนเป็ดใหญ่ และไข่น้ำมีประสิทธิภาพบำบัดดีที่สุด เฉลี่ยร้อยละ 71.61 และ 59.20 ตามลำดับ ในขณะที่ จอกมีประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 10% โดยบำบัดได้ร้อยละ 77.70

จากผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรต่อโภชนะของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด ที่ทำการทดลองเป็นเวลา 14 วัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% พืชทั้ง 3 ชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยเฉพาะไข่น้ำสามารถเจริญได้มากที่สุดโดยมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 742 และ 1169.23 ตามลำดับ และพบว่าพืชทั้ง 3 ชนิดเมื่อเลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรจะให้คุณค่าทางโภชนะมากกว่าที่ไม่ได้เลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร จากผลการทดลองพบว่า ไข่น้ำมีค่าโภชนะสูงเมื่อเปรียบเทียบกับจอกและแหนเป็ดใหญ่ โดยเฉพาะที่เลี้ยงในความเข้มข้นของน้ำเสีย 5% มีปริมาณ CP 38.76±0.11% ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 48.73

ดังนั้นเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัด และการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรต่อน้ำหนักและโภชนะของพืชลอยน้ำแล้วพบว่า ไข่น้ำมีความเหมาะสมสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรในระดับฟาร์ม โดยสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย ก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือการประยุกต์ใช้ในระดับครัวเรือน ที่ไม่มีระบบบำบัด เพื่อการบำบัดน้ำเสียเบื่องต้น โดยเกษตรกรสามารถเลี้ยงไข่น้ำ

ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ยังไม่ผ่านการบำบัดในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 5% โดยเข้มข้นนี้ทำให้ไข่น้ำเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดี และยังให้ค่าโภชนะที่สูง โดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ในการทำเป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์ได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำพืชลอยน้ำไปบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร และต้องการโภชนะเพื่อนำไปเป็นอาหารเสริมเข้าในการเลี้ยงสัตว์ของตนมีดังนี้

ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในการบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก หรือ ในระบบการเลี้ยงระดับครัวเรือน หรือ ฟาร์มสุกรประเภท ก ข และ ค

สำหรับผู้ที่เลี้ยงสุกรสามารถนำพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดไปบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร หรือจากการกระบวนการเลี้ยงสุกรของได้ แต่ผู้ทำวิจัยงานนี้ เสนอให้นำไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 5% ไปบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เนื่องจากไข่น้ำมีการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณโภชนะมาก โดยเฉพาะโปรตีน และพลังงานเหล่านี้เป็นต้น

- ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจศึกษาต่อมีดังนี้

การทดลองควรทำในโรงเรือนที่มีการถ่ายเทอากาศ คุมพลาสติก และคุมสแลน พื้นโรงเรือนควรทำให้เป็นดิน ไม่ควนเทคอนกรีต และที่สำคัญควรทดลองในบ่อน้ำเสียที่ออกจากการเลี้ยงสุกรจริง

ควรเอาพืชสอง หรือ 3 ชนิดรวมกันทดลองบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร

ควรเพิ่มปริมาณการใส่พืชให้มากเพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียได้ในเวลาที่ไม่นาน

ควรศึกษาปริมาณสารตกค้างที่จะส่งผลต่อสัตว์ในกรณีที่นำเอาผลผลิตไปใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์

บรรณานุกรม

กัญชลี นาวิกภูมิ, สมชาย ทรงประกอบ, เพ็ญพิชชา บุญรัตน์, โกมล เอี่ยมเสมอ, สุธิร์ สุนิตย์สกุล, สาววิชชุดา สีมาชจร, วิมลิน แกล้วทนง และอำนาจ นิสภวาณิชย์, 2546. **คู่มือการเลือกใช้ การดูแล และบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์** ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยา กรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหน้า 1.

กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตร และสหรณ์, 2546. **คู่มือการเลียงไก่พื้นเมือง** หน้า 8,10,12-13,17,21.

กัญญารัตน์ รักษำแก้ว, เพ็ญศรี เพ็ญประไพ และวรรณิณี จันทร์แก้ว, 2561. **ฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยน้ำของไข่น้ำ (Wolffia globose (Roxburgh) Den Hartog and Van der Plas)** การประชุมวิชาการพฤกษศาสตร์พื้นบ้านแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 สาขาวิชาการเพราะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการจัดการทรัพยากรประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย หน้า 2.

กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, 2552. **คู่มือการผลิต และจัดการอาหารสัตว์เพื่อลดต้นทุนการผลิต** หน้า 4,9-11, 14-17.

ขนิษฐา เจริญลาก, 2556. รายงานการวิจัย **การปรับปรุงประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสา และย้อมสีค้าย** โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ หน้า 7 - 10.

ครรชิต ชมมภูพันธุ์ บัวเรียม มณีวรรณ์ นรินทร์ ทองวิทยา และกฤดา ชูเกียรติศิริ, 2558. **ผลผลิต และองค์ประกอบทางเคมีของแหนแดงแห้ง และหมักแห้งเพื่อเป็นแหล่งอาหารโปรตีนในอาหารไก่** วรสารสัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย ปีที่ 2 ฉบับพิเศษ 1 พฤษภาคม-สิงหาคม หน้า 313-316.

จุฬาภรณ์ เลิศบวรวงศ์, 2551. **สุขาภิบาลสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์, 2548. **คู่มือชมพรรณไม้น้ำไทย กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำจืด** สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด สำนักวิจัย และพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวง เกษตร และสหกรณ์

เจษฎา รัตนวุฒิ, ดนุสรณ์ ไตรระเบียบ และนิตยาเกตุแก้ว, 2560. **ผลการเสริมไข่น้ำในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต และสีไข่แดงของเป็ดไข่** แก่นเกษตร ปีที่ 45 ฉบับที่ 2 หน้า 249-254.

ชิดชนก จิ๋วพัฒนกุล, 2559. **ผลของแสงต่อการดูดซึมสังกระสีด้วยจอก (*Pistia stratiotes* L.)** วิทยานิพนธ์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐสิมา โทขันธ์, 2553. **การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้แหนแดง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยลัยขอนแก่น หน้า 64, 91, 93

ณัฐสิมา โทขันธ์, ชุลีมาส บุญไทยอิวาย และมงคล ต๊ะอุ่น, 2011.**การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยใช้แหนแดง**. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้า 779-883.

ฐานข้อมูลพรรณไม้ องค์การสวนพฤกษศาสตร์. มปป. **แหนเป็ดใหญ่**. Access [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา shorturl.asia/0OQl5. (02/10/2020)

ดาริกา วสุนธรากุล และสุดสาคร พุกงาม, 2548. **การใช้พืชน้ำในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ** บทความวิชาการ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ หน้า 45.

ทองเลียน บัวจูม, 2551. **เอกสารประกอบการสอนวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้น** ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแมโจ้หน้า 15.

ธนากร น้ำหอมจันทร์, 2562. **โรงงานผลิตพืช** วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์เอเชีย ฉบับวิทยาศาตร์ และเทคโนโลยี คณะวศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์เอเชีย หน้า 49-52.

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล, 2558. **การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย** วารสารวิชาการ และการ วิจัย มทร. พระนคร ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5.

ธิษณา จรรยาชัยเลิศ, สุนทรินทร สัจจะวัชรพงศ และไตรภพ มีชัย, 2555. **คู่มือโภชนาการสู่ฉลาก หวาน มัน เค็ม** สมาคมกำหนดอาหารแห่งประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย หน้า 2.

นัฏฐา ดำนา, วัลวิภา สายแก้ว และอารักษ์ ธีรอำพน, 2560. **อิทธิพลของชนิดปุ๋ย และระดับการพรางแสงต่อผลผลิต และคุณภาพของไข่น้ำ [*Wolffia arrhiza (L.) Wimm.*]**. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 (กรกฎาคม-กันยายน): 60-64, 256063.

นุชนันท์ พลฤทธิ์, 2558. **ประสิทธิภาพในการลดปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียฟาร์มสุกรของ แหนแดง** วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม.

บุญทิวา ชาติชำนิ, สุนันทา เลาวัณย์ศิริ และกรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา, 2556. **การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยใช้ไข่น้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์** วารสารบัณฑิตศึกษา ปีที่ 10 ฉบับที่ 50 มหาวิทยาลัยราชภัฏ สกลนคร. หน้า 113-122.

ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์, 2552. **การบำบัดอาเซนิคในน้ำโดยพืชน้ำ** รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี หน้า 33

ผักเกษตร, 2559. **พืชผัก สมุนไพร** Access [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา shorturl.asia/4PeFt สืบ ค้น (29/10/2021)

พงษ์ชาญ ณลำปาง, 2556. รายงานการวิจัย **การหาแหล่งอาหารพื้นบ้านเพื่อทดแทนรำในอาหารสุกร พันธุ์ไทย** สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี หน้า 10-12.

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก, วิภา หอมหวน, ดำรงศักดิ์ สุวรรณศรี และนุชนันท์ พลฤทธิ์, 2558. **การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยแหนแดง (*Azolla microphylla*) ในระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำ** ภาควิชา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก หน้า 698-714.

พิพิธภัณธรรมมชาติวิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มปป. **พรรณไม้ลอยน้ำ** Access [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา http://www.fish.ku.ac.th/web%20museum/pdf (14/04/2020)

มณทิพย์ จันทร์แก้ว, เมธาวี ประจันทะ, อาทิตยา ดีพร้อม และนิสา พักตร์วิไล, 2560. **ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียคลองระแหงด้วยพืชลอยน้ำ (ผักตบชวา และแพงพวยน้ำ)** การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาศตร์ และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 5. หน้า 279-283.

มนัสนันท์ แย้มมนัส, 2561.**ระบบพืชน้ำผสมผสานเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารเภสัชกรรมตกค้าง** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ หน้า 19-20

วิโรจน์ วัชระเกียรติศักดิ์, สมชาย แตงสันต์, ยามรัตน์ ศิริพันธ์โนน, ดวงหทัย ครุฑเลิศ และชัชชัย โทปัญญา, 2548. **คู่มือการจัดการน้ำเสียชุมชน. ส่วนประยุกต์เทคโนโลยีที่เหมาะสม** สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม หน้า 2

ศิริภาวี ศรีเจริญ, นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์ และสุทธิพงค์ เปรื่องค้า, 2545. **การเพราะเลี้ยงไข่น้ำ** วารสารศูนย์ บริการวิชาการ ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 22.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมปศุสัตว์ กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ กระทรวง เกษตร และ สหกรณ์. 2563. **ข้อมูลจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และปศุสัตว์** เผยแพร่ 20 มีนาคม 2563 Access [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา shorturl.asia/OPzXq (14/04/2020)

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมปศุสัตว์ กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558. **ข้อมูลจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และปศุสัตว์** เผยแพร่ 15 มีนาคม 2558 .Access [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา shorturl.asia/l2LHU (21/10/2021)

สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2556. **คู่มือวิธีการ หรือ เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง สุกรประเภท ค** หน้า 1,3-5.

สุนีย์ ต๊ะปินตา, เพ็ญพิชชา บุญรัตน์, สุทธิ์ทิรา บัวนาค, อาวุธ สงกะมิลินท์ และเจนจิรา, ไล่สุด, 2553. **คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสีย และปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร** ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรทธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม หน้า 1

สุนีย์ ต๊ะปินตา, เพ็ญพิชชา บุญรัตน์, สุทธิ์ทิรา บัวนาค, อาวุธ สงกะมีลินท์ และเจนจิรา ไล่สุด, 2544. **คู่มือแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมฟาร์มสุกร** ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หน้า 6-7.

อนุกูน สุธาพันธ์, สุนีย์ ต๊ะปินตา, จุฑามาศ รัตติกาลสุขะ, เพ็ญพิชชา บุญรัตน์, ตินันท์ อรทัย, ดุสิต วงษ์ล้วนงาม, มารุต สุขสมจิตร, วัณณิภา ก้วยเจริญพานิชก์, สุทธิ์ทิรา บัวนาศ, อาวุธ สงกะมิลินท์, จิระวดี สดแสงจันทร์ และเจนจิราไล่สุด, 2554. **คู่มือสำหรับองค์กรปกครอง ส่วนท้องถิ่นในการพิจารณาหลักเกณฑ์ และเงื่อนไขด้านการจัดการน้ำเสีย และของเสียจาก การประกอบกิจการ** สำนัก จัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ หน้า 47

อารักษ์ ธิรอำพน, 2560. **ผลของปัจจัยบางประการต่อการเจริญเติบโต และการเก็บรักษาไข่น้ำ ด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์**. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทค โนโลยีสุรนารี หน้า 7.

อุมารินทร์ มัจฉาเกื้อ, สิทธิพัฒน์ แผ้วฉ่ำ และคณสร ล้อมเมตตา, 2558. **การใช้ผำบดแห้งทดแทน กากถั่วเหลืองในสูตรอาหารเลี้ยงปลาตะเพียนขาว และปลาไน** การประชุมวิชาการวิจัย รำไพพรรณี ครั้งที่ 9 การบูรณาการวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั้งยืน คณะเทคโนโลยี การเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏ รำไพพรรณี.

Association, American Public Health, 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th edn., Washington D.C., 1268p.

Amare, E., Kebede, F., & Mulat, W. (2018). **Wastewater treatment by Lemna minor and Azolla filiculoides in tropical semi-arid regions of Ethiopia**. *Ecological Engineering, 120*, 464-473.

Baidya, S., & Patel, A. B. (2018). **Effect of co-cultivation of Wolffia arrhiza (L.) on water quality parameters in a feed based semi-intensive carp culture system**. *Journal of Entomology and Zoology Studies, 6*, 102-109.

Brix, H., & Schierup, H.-H., 1989. **The use of aquatic macrophytes in water-pollution control**. *Ambio, 28*(2), 100-107

Chen, S., Kao, C., Jou, C., Fu, Y., & Chang, Y. (2008). **Use of a constructed wetland for post-treatment of swine wastewater**. *Environmental Engineering Science,*

25(3), 407-418.

Chen Xi, Chen Xiuxia, Wan Xianwei, Weng Boqi and Huang Qin, 2010.**Water hyacinth (Eichhornia crassipes) waste as an adsorbent for phosphorus removal from swine wastewater**. Bioresource Technology,101(23), 9025-9030.

Chen, J., Nie, Q., Zhang, Y., Hu, J., & Qing, L. (2014). **Eco-physiological characteristics of Pistia stratiotes and its removal of pollutants from livestock wastewater**. *Water science and technology, 69*(12), 2510-2518.

Cook, C. D., Gut, B. J., Rix, E. M., & Schneller, J. (1974). **Water plants of the world: a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes**: *Springer Science & Business Media*

Hammer, D. A. (2020). **Constructed wetlands for wastewater treatment***: municipal, industrial and agricultural*: CRC Press.

Jianbo, L., Zhihui, F., & Zhaozheng, Y. (2008). **Performance of a water hyacinth (Eichhornia crassipes) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed**. *Journal of Environmental Sciences, 20*(5), 513-519.

Lu, B., Xu, Z., Li, J., & Chai, X. (2018). **Removal of water nutrients by different aquatic plant species: An alternative way to remediate polluted rural rivers**. *Ecological Engineering, 110*, 18-26.

Liu, P., Song, C., Zhu, H., Zhang, Q., & Jia, C. (2011). **Studies on eutrophicated water quality improvement by three kinds of hydrophytes**. *Journal of Hydroecology, 32*, 69-74.

Meng, L., Xu-zhou, M., & Wu, W. (2012). **Effects of Pistia stratiotes L. on removal rate for nitrogen and phosphorus in polluted water body.** *Resources and Environment in the Yangtza Basin, 9*, 1137-1142.

Marty, F. (1999). **Plant vacuoles**. The Plant Cell, 11(4), 587-599.

Ross 308. 2007.**Nutrition** Specification. [ระบบออนไลน์] shorturl.asia/5R21O สืบค้น 25 ตุลาคม 2564

Singh, J., Kumar, V., Kumar, P., Kumar, P., Yadav, K. K., Cabral-Pinto, M. M., Kamyab, H and Chelliapan, S. (2021). **An experimental investigation on**

phytoremediation performance of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) for pollutants removal from paper mill effluent. *Water Environment Research*.

Sharma JaiGopal, Clark William D., Shrivastav Avanish Kumar, Goswami Ravi Kumar, Tocher Douglas R. and Chakrabarti Rina, 2019. **Production potential of greater duckweed Spirodela polyrhiza (L. Schleiden) and its biochemical composition evaluation**. *Aquaculture,*513(734419.

Sudiarto Sartika Indah Renggaman Amalia, Anriansyah and Choi Hong Lim, 2019. **Floating aquatic plants for total nitrogen and phosphorus removal from treated swine wastewater and their biomass characteristics**. *Journal of environmental management,*231(763-769.

Sooknah, R. D., & Wilkie, A. C. (2004). **Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater**. *Ecological Engineering, 22*(1), 27-42

Tylova-Munzarova E., Lorenzen B., Brix H. and Votrubova O. 2005. **The effects of NH^{4+} and NO^{3-} on growth, resource allocation and nitrogen uptake kinetics of Phragmites australis and Glyceria maxima**. *Aquatic Botany*, 81. 326–342

Venning, K. (2001). **Effects of Fertilisation with Biodigester Effluent on the Growth and Composition of Selected Water Plants**. *Project in Agricultural Science,* 212-424.

Vymazal, J. (2005). **Constructed wetlands for wastewater treatment**. *Ecological Engineering, 5*(25), 475-477.

Weirich, C. E., Feiden, A., Souza, C. S., Marchetti, C. R., Aleixo, V., & Klosowski, É. S. (2020). **Temperature influences swine wastewater treatment by aquatic plants**. *Scientia Agricola, 78*.

Xu, J., & Shen, G. (2011). **Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production**. *Bioresource Technology, 102*(2), 848-853

Zhao, Z., Shi, H., Liu, Y., Zhao, H., Su, H., Wang, M., & Zhao, Y. (2014). **The influence of duckweed species diversity on biomass productivity and nutrient removal efficiency in swine wastewater**. *Bioresource Technology, 167*, 383-389

ภาคผนวก

ภาคผนวก (ก)

สถานที่ และโรงเรือนการทดลอง

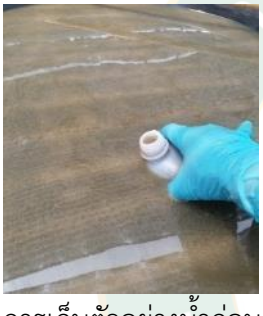
ภาคผนวก (ข)

การเก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร การกรอง การผสมน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การเก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร การกรอง การผสมน้ำ

เก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร การกรอง การผสมน้ำเสีย

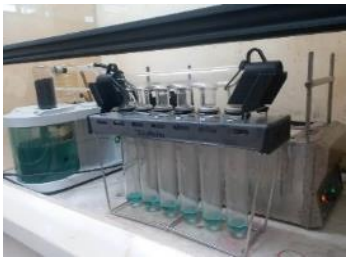
การเก็บตัวอย่างน้ำ



การเก็บตัวอย่างน้ำก่อนผสม การเก็บตัวอย่างน้ำที่ผสมแล้วตัวอย่างน้ำที่นำไปตรวจวิเคราะห์

การตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การตรวจวัด pH การวิเคราะห์ COD



การวิเคราะห์ BOD การวิเคราะห์ SS การวิเคราะห์ TKN

ภาคผนวก (ค)

การตาก อบ และการบดพืชลอยน้ำ

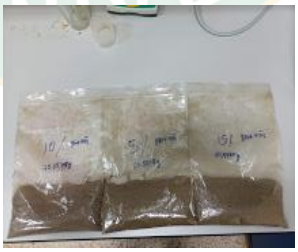
การตากพืชลอยน้ำ

จอก แหนเป็ดใหญ่ ไข่น้ำ

การอบพืชลอยน้ำ

จอก แหนเป็ดใหญ่ ไข่น้ำ

การบดพืชลอยน้ำ



จอก แหนเป็ดใหญ่ ไข่น้ำ

ภาคผนวก (ง)

น้ำเสียฟาร์มสุกรเริ่มต้น และน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งพืชก่อน และหลังการทดสอบ 7 วัน

น้ำเสียสุกรเริ่มต้น

ตัวแปร	จำนวนซ้ำ		
	1	2	3
pH	6.62	6.60	6.93
อุณภูมิ °C	25.50	30.13	29.77
COD (mg/L)	10.398.66	9,570.67	10,890.00
BOD (mg/L)	6,800.00	6,600.00	6,700.00
SS (mg/L)	7,193.33	6,066.67	7,200.00
TKN (mg/L)	113,762.99	112,023.32	114,904.09

น้ำหนักสดจอก และน้ำหนักแห้งก่อน-หลังการทดสอบ 7 วัน

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร				
	5 (%)	10 (%)	20 (%)	30 (%)	40 (%)
WB (g)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
WA (g)	17.54	17.58	14.23	9.79	6.00
DB (g)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
DA (g)	0.91	0.91	0.74	0.51	0.31

น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งแหนเป็ดใหญ่ก่อน-หลังการทดสอบ 7 วัน

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร				
	5 (%)	10 (%)	20 (%)	30 (%)	40 (%)
WB (g)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
WA (g)	11.45	12.00	11.50	9.55	6.21
DB (g)	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
DA (g)	1.67	1.24	1.21	1.02	0.41

น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไข่น้ำก่อน-หลังการทดสอบ 7 วัน

ตัวแปร	ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร				
	5 (%)	10 (%)	20 (%)	30 (%)	40 (%)
WB (g)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
WA (g)	17.96	19.96	17.45	3.01	1.00
DB (g)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
DA (g)	0.54	0.60	0.52	0.09	0.03

ภาคผนวก (จ)

น้ำเสียก่อน และหลังทดลอง 14 วัน

น้ำเสียก่อนการทดลอง 14 วันของจอก

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	7.58	7.61	7.68	6.98	6.96	6.98	6.90	6.89	6.85	6.90	6.81	6.81
อุณภูมิ °C	26.20	29.10	26.00	25.65	25.63	25.62	25.50	25.60	25.50	25.50	25.60	25.50
COD (mg/L)	6.43	5.63	23.32	838.48	436.47	608.76	1,045.23	1,013.07	1,093.47	2,3.58.46	2,090.45	179.79
BOD (mg/L)	1.50	0.00	2.70	495.00	375.00	225.00	907.50	525.00	495.00	1,440.00	1,140.00	1,560.00
SS (mg/L)	0.67	0.67	1.33	310.00	315.00	290.00	610.00	610.00	590.00	840.00	830.00	830.00
TKN (mg/L)	14.01	21.01	35.02	5,059.33	4,796.00	5,112.56	10,589.29	10,466.03	10,975.89	14,799.80	15,065.93	15,413.30

ค่าน้ำเสียหลังการทดลอง 14 วัน โดยใช้จอกบำบัด

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	8.44	8.59	8.47	8.30	8.33	8.32	8.17	8.17	8.16	8.20	8.11	8.15
อุณภูมิ °C	26.60	26.30	26.40	26.20	26.10	26.00	26.30	26.10	26.00	26.20	26.20	26.10
COD (mg/L)	36.00	21.60	21.60	72.00	64.80	72.00	480.00	480.00	720.00	1,440.00	1,800.00	1,080.00
BOD (mg/L)	4.20	3.60	1.80	20.00	20.00	18.00	75.00	90.00	60.00	120.00	150.00	210.00
SS (mg/L)	3.33	6.67	4.67	42.86	55.71	32.86	86.76	128.33	101.00	134.00	116.00	170.00
TKN (mg/L)	913.26	914.27	619.11	1,672.44	1,434032	1,14.71	2,005.80	2,568.88	2,568.88	5,403.90	5,403.90	5,465.53

น้ำเสียก่อนการทดลอง 14 วันของแหนเป็ดใหญ่

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	7.30	7.33	7.34	7.27	7.29	77.28	7.32	7.33	7.31	7.32	7.33	7.33
อุณภูมิ °C	29.90	29.80	29.90	30.00	29.90	29.90	30.00	30.00	29.90	30.00	30.00	30.00
COD (mg/L)	20.00	20.00	12.00	550.00	560.00	560.00	1,000.00	1,066.67	1,066.67	1,900.00	1,900.00	1,700.00
BOD (mg/L)	1.50	1.20	255.00	240.00	240.00	450.00	450.00	450.00	450.00	810.00	810.00	810.00
SS (mg/L)	0.56	0.56	0.56	285.00	295.00	305.00	560.00	560.00	566.67	830.00	810.00	840.00
TKN (mg/L)	18.68	32.68	46.69	5,313.32	3,926.63	5,229.28	9,200.26	9,389.36	9,389.36	14,438.88	14,712.02	13,381.35

ค่าน้ำเสียหลังการทดลอง 14 วัน โดยใช้แหนเป็ดใหญ่บำบัด

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	8.50	8.50	8.50	8.60	8.58	8.50	8.09	8.07	8.10	8.08	8.10	8.09
อุณภูมิ °C	27.30	27.00	27.10	27.40	27.30	27.00	27.00	27.00	27.00	27.10	27.20	27.30
COD (mg/L)	31.04	23.28	15.52	77.60	97.00	77.60	155.20	155.20	155.20	310.40	310.40	310.40
BOD (mg/L)	3.90	3.60	3.60	16.50	21.00	19.50	45.00	45.00	45.00	90.00	84.00	84.00
SS (mg/L)	6.00	6.00	4.00	27.14	27.14	34.29	83.33	71.67	75.00	170.00	144.00	140.00
TKN (mg/L)	80.54	136.57	122.56	1,355.18	1,376.19	1,376.19	4,044.52	2,769.88	2,741.87	5,599.30	5,305.15	5,515.26

น้ำเสียก่อนการทดลอง 14 วันของไข่น้ำ

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	8.05	8.04	8.03	7.63	7.67	7.68	7.47	7.47	7.50	7.42	7.42	7.43
อุณภูมิ °C	30.70	30.60	30.60	30.50	30.50	30.50	31.10	31.10	31.10	30.70	30.70	30.70
COD (mg/L)	11.88	11.88	11.88	735.45	622.29	622.29	1,188.00	1,188.00	1,188.00	2,508.00	2,2.44.00	1,980.00
BOD (mg/L)	1.50	1.20	1.50	255.00	240.00	240.00	450.00	450.00	450.00	810.00	810.00	810.00
SS (mg/L)	0.50	0.50	0.50	370.00	390.00	405.00	790.00	790.00	790.00	920.00	940.00	910.00
TKN (mg/L)	42.02	42.02	28.01	5,742.87	5,882.94	5,882.94	10,785.39	10,785.39	12,186.09	14,987.49	16,388.19	16,388.19

ค่าน้ำเสียหลังการทดลอง 14 วัน โดยใช้ไข่น้ำบำบัด

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	8.95	8.63	9.04	8.22	8.68	8.65	8.52	8.42	8.52	8.22	8.24	8.26
อุณภูมิ °C	28.90	29.20	29.40	29.80	29.70	30.00	30.60	30.40	30.60	30.50	30.20	30.10
COD (mg/L)	32.00	40.00	32.00	128.00	213.33	195.56	320.00	400.00	360.00	1,440.00	1,440.00	1,440.00
BOD (mg/L)	5.40	6.60	6.60	39.00	36.00	36.00	84.00	78.00	84.00	330.00	390.00	390.00
SS (mg/L)	11.00	10.50	12.50	29.44	137.00	109.00	192.00	230.00	174.00	252.00	254.00	254.00
TKN (mg/L)	233.45	233.45	233.45	2,334.50	2,334.50	2,474.57	4,995.83	4,995.83	4,995.83	8,077.37	8,077.37	8,077.37

ภาคผนวก (ฉ)

โภชนะของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิดก่อน และหลังทดสอบ 14 วัน

ค่าโภชนะของพืชลอยน้ำ 3 ชนิดก่อนการทดลอง 14 วัน

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย								
	จอก			แหนเป็ดใหญ่			ไข่น้ำ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
WW (g)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
DW (g)	0.28	0.20	0.29	0.35	0.30	0.28	0.10	0.10	0.20
Moisture (%)	6.17	6.09	-	6.57	6.28	-	7.21	7.16	-
DM (%)	93.83	93.91	-	93.43	93.72	-	92.79	92.84	-
Ca (%)	1.51	1.26	-	3.06	2.88	-	1.33	1.91	-
P (%)	0.82	0.84	-	1.98	1.98	-	3.08	3.04	-
CP (%)	30.62	30.08	-	26.12	26.20	-	26.22	25.89	-
CF (%)	13.62	14.24	-	9.40	9.58	-	9.76	9.78	-
GE (Kcal/Kg)	3,822.87	3,822.81	-	3,620.89	3,619.29	-	3,710.53	3,723.61	-

ค่าโภชนะของจอกหลังการทดลอง 14 วัน

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
WW (g)	10.36	17.28	14.21	29.69	34.72	36.97	27.85	24.52	25.58	14.15	14.48	14.98
DW (g)	0.53	0.70	0.62	1.68	1.44	1.44	1.10	1.28	1.14	0.71	0.74	2.01
Moisture (%)	6.17	6.09	-	6.73	6.70	-	7.04	7.06	-	6.97	6.92	-
DM (%)	93.83	93.91	-	93.27	93.30	-	92.96	92.94	-	93.03	93.08	-
Ca (%)	1.51	1.26	-	1.50	1.59	-	1.69	1.50	-	1.43	1.50	-
P (%)	0.82	0.84	-	1.59	1.53	-	1.29	1.30	-	1.41	1.43	-
CP (%)	30.62	30.08	-	31.36	31.35	-	35.04	34.99	-	35.87	35.52	-
CF (%)	13.62	14.24	-	10.73	10.72	-	10.67	10.73	-	11.42	11.69	-
GE (Kcal/Kg)	3,822.87	3,822.81	-	3,829.74	3,836.01	-	3,805.94	3,806.76	-	3,731.05	3,744.09	-

ค่าโภชนะของแหนเป็ดใหญ่หลังการทดลอง 14 วัน

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
WW (g)	9.16	9.16	9.43	19.71	26.41	18.58	17.27	16.85	23.95	11.45	14.96	9.89
DW (g)	0.80	0.74	0.74	1.22	1.37	1.21	1.06	1.01	1.38	0.89	0.97	0.67
Moisture (%)	6.57	6.28	-	8.14	8.17	-	8.78	8.86	-	8.65	8.67	-
DM (%)	93.43	93.72	-	91.86	91.83	-	91.22	91.14	-	91.35	91.33	-
Ca (%)	3.06	2.88	-	1.20	1.62	-	1.51	1.71	-	1.31	1.54	-
P (%)	1.98	1.98	-	1.93	1.88	-	2.34	2.36	-	2.23	2.28	-
CP (%)	26.12	26.20	-	28.30	28.56	-	29.53	29.38	-	30.84	31.02	-
CF (%)	9.40	9.58	-	7.70	7.74	-	7.97	7.63	-	7.48	6.83	-
GE (Kcal/Kg)	3,620.89	3,619.29	-	3,757.89	3,719.92	-	3,652.71	3,649.33	-	3,798.58	3,790.65	-

ค่าโภชนะของไข่น้ำหลังการทดลอง 14 วัน

ตัวแปร	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย											
	Control			5 (%)			10 (%)			15 (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
WW (g)	17.73	20.30	20.00	48.04	37.96	40.3	26.56	25.25	30.3	10.21	10.30	8.01
DW (g)	0.85	1.05	1.01	1.93	1.38	1.64	1.14	1.04	1.37	0.51	0.51	0.45
Moisture (%)	7.21	7.16	-	9.92	9.76	-	10.09	10.11	-	9.59	9.57	-
DM (%)	92.79	92.84	-	90.08	90.03	-	89.91	89.89	-	90.41	90.43	-
Ca (%)	1.33	1.91	-	1.22	1.46	-	2.00	1.65	-	2.59	2.49	-
P (%)	3.08	3.04	-	4.02	4.04	-	5.22	5.04	-	4.94	5.18	-
CP (%)	26.22	25.89	-	38.84	38.68	-	35.29	35.45	-	37.56	37.41	-
CF (%)	9.76	9.78	-	9.15	9.14	-	7.64	7.84	-	7.22	7.63	-
GE (Kcal/Kg)	3,710.53	3,723.61	-	3,794.40	3,779.85	-	3,514.63	3,449.77	-	3,570.40	3,562.98	-

ภาคผนวก (ช)

การเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำทั้ง 3 ชนิด 14 วัน

การเจริญเติบโตของจอกวันที่ 1

Control Control Control

5% 10% 15%

การเจริญเติบโตของจอกวันที่ 2

Control Control Control

5% 10% 15%

การเจริญเติบโตของจอกวันที่ 13

Control Control Control

5% 10% 15%

การเจริญเติบโตของจอกวันที่ 14

Control Control Control

5% 10% 15%

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่วันที่ 1

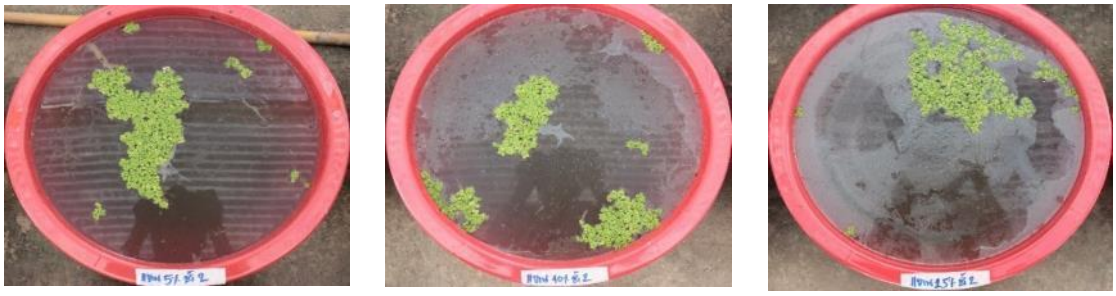
Control Control Control

5%	10%	15%

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่วันที่ 2

Control Control Control

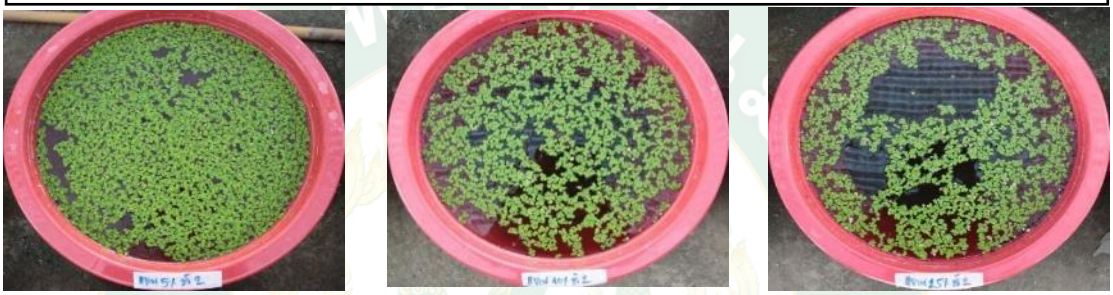
5%	10%	15%



การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่วันที่ 13

Control Control Control

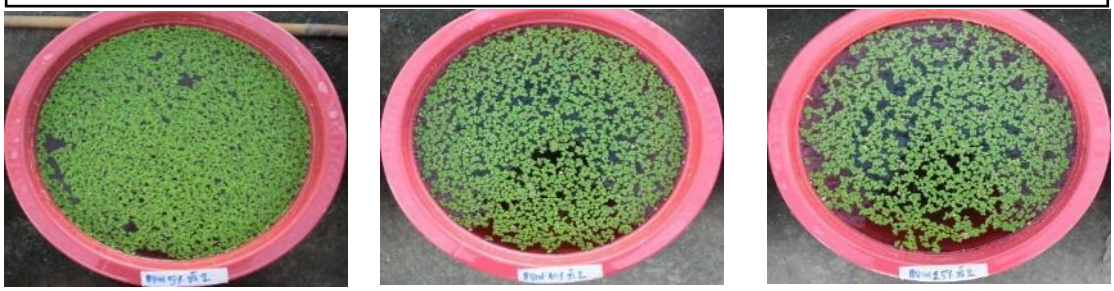
5% 10% 15%



การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่วันที่ 14

Control Control Control

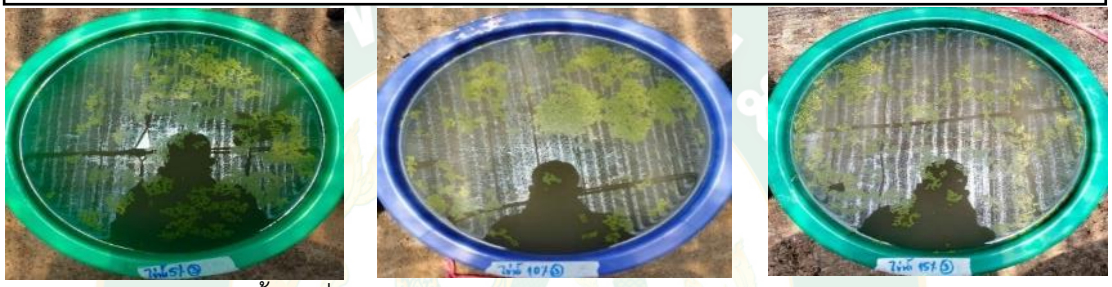
5% 10% 15%



การเจริญเติบโตของไข่น้ำวันที่ 1

Control Control Control

5% 10% 15%



การเจริญเติบโตของไข่น้ำวันที่ 2

Control Control Control

5% 10% 15%

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่วันที่ 13

Control Control Control

5% 10% 15%

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่วันที่ 14

Control Control Control

5% 10% 15%

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	Mr. Thongphanh Lartdavong
เกิดเมื่อ	03 Jan 1986
ประวัติการศึกษา	Year 1994 - 1998 Studied Primary school at Koudhy Village, Thapangthong District, Savannakhet Province Year 1999 - 2004 Studied high school at Nonjane, Thapangthong District, Savannakhet Province Year 2005 - 2010 Studied at National University of Laos Faculty of Environmental Science major in Environmental Science Year 2019-2021 study for a master's degree at Maejo University Faculty of Science, Department of Environmental Technology
ประวัติการทำงาน	Year 2011 - 2012 Agricultural Training in Israel Year 2011 - 2019 Work at Savannakhet University Faculty of Agriculture and Environment