กระบวนการผลิตแหนแดง (*Azolla microphylla*) เพื่อใช้ในการเกษตร

โดย

นางสาวพัชนี วิมูลชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเกษตรอินทรีย์)
สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Ref. code: 25636209034518RVM

กระบวนการผลิตแหนแดง (*Azolla microphylla*) เพื่อใช้ในการเกษตร

โดย

นางสาวพัชนี วิมูลชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเกษตรอินทรีย์)
สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Ref. code: 25636209034518RVM

AZOLLA MICROPHYLLA PRODUCTION FOR AGRICULTURE

BY

MISS PATCHANEE WIMOONCHART

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE (ORGANIC FARMING MANAGEMENT)

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2020

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

Ref. code: 25636209034518RVM

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวพัชนี วิมูลชาติ

เรื่อง

กระบวนการผลิตแหนแดง (*Azolla microphylla*) เพื่อใช้ในการเกษตร

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเกษตรอินทรีย์)

เมื่อ วันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2564

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ร่มแก้ว)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม _____
(อาจารย์ ดร.พฤกษ์ ชุติมานุกูล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวรรณ์ เชื้อบุญ)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธนนท์ หงส์วริทธิ์ธร)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการผลิตแหนแดง (*Azolla microphylla*) เพื่อใช้ในการเกษตร
ชื่อผู้เขียน	นางสาวพัชนี วิมูลชาติ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเกษตรอินทรีย์)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.พฤกษ์ ชุติมานุกูล
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของมูลสัตว์ อัตราการใช้มูลสัตว์ และการพรางแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดงในบ่อซีเมนต์ให้กับเกษตรกร แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง โดยแต่ละการทดลอง ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตของแหนแดงทุกๆ 10 วัน จำนวน 3 รอบการเก็บเกี่ยว และบันทึกผลการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิต ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง รวมไปถึงวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแหนแดง ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด) ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณโปรตีน โดยการทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ T1: ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม) T2: ใส่มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์ T3: ใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ และ T4-T6: ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรอัตราส่วน 25:75, 50:50 และ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งพบว่า การใช้มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และมีระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่าที่สั้นที่สุด อีกทั้งยังทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงที่สุด จึงคัดเลือกการใช้มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทดสอบต่อไปในการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาอัตราการใช้มูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ T1: ไม่ใส่มูลสุกร (ควบคุม) และ T2-T4: ใส่มูลสุกร

Ref. code: 25636209034518RVM

อัตรา 20.16, 30.16 และ 40.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การใส่มูลสุกรทุกอัตรา ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโต ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง รวมไปถึงการสะสมธาตุอาหารไม่แตกต่างทางสถิติ จึงคัดเลือกการใส่มูลสุกรในอัตราที่ต่ำที่สุด คือ 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร เพื่อทดสอบต่อไปในการทดลองที่ 3 ที่ศึกษาการพรางแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบและการให้ผลผลิตของแหนแดง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ T1: ไม่มีการพรางแสง (ควบคุม) และ T2-T4: พรางแสงด้วยตาข่ายกรองแสง 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโต ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง รวมไปถึงการสะสมธาตุไนโตรเจนที่สูงที่สุด จึงคัดเลือกการพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการคัดเลือกกรรมวิธีการเพาะเลี้ยงแหนแดงจากการทดลองที่ 1-3 สรุปได้ว่า เป็นการใช้มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ร่วมกับการพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดสอบเปรียบเทียบกับกรรมวิธีของกรมวิชาการเกษตร ที่แนะนำให้ใช้ปุ๋ยมูลโคอัตรา 1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับการใช้มุ้งตาข่ายปิดปากบ่อเพื่อพรางแสง โดยพบว่า การใช้มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ร่วมกับการพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 1,842.60 กรัมต่อ 0.5 ตารางเมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรโดยมีการสะสมธาตุธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 4.92, 0.75 และ 4.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: แหนแดง, มูลสัตว์, ธาตุอาหารหลัก, ผลผลิต

Ref. code: 25636209034518RVM

Thesis Title	AZOLLA MICROPHYLLA PRODUCTION FOR AGRICULTURE
Author	Miss Patchanee Wimoonchart
Degree	Master of Science (Organic Farming Management)
Department/Faculty/University	Agricultural Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Ornprapa Thepsilvisut, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Preuk Chutimanukol, Ph.D.
Academic Year	2020

ABSTRACT

This research aims to study the type and rate of animal manure, and optimal light intensity for the growth and yield of azolla (*Azolla microphylla*) to be a guideline of azolla cultivation in cement pond for the farmer. In all 3 experiments, azolla was cultivated in cement pond and harvested every 10 days for 3 times, which was measured the relative growth rate, doubling time, fresh weight, dry weight and chemical properties in azolla tiisues (total N, total P, total K, organic matter and protein). The first experiment design was completely randomized design (CRD) with 6 treatments and 3 replications. Treatments were consisting of T1: No fertilizer (Control), T2: cow manure 100 %, T3: pig manure 100 %, and T4-T6: cow manure and pig manure at a ratio of 25:75, 50:50 and 75:25 % by weight. The results showed that the application of 100% pig manures gave the highest of growth and yield, which the 100% pig manure was selected for the second experiment. The second experiment was designed by completely randomized design (CRD) with 4 treatments and 3 replications. Treatments were consisting of T1: No fertilizer (Control), and T2-T4: pig manure 20.16, 30.16 and 40.16 gN/m^2. The results showed that there was no significant difference between the dosage of pig manure, which 20.16 gN/m^2 of pig manure was the minimal dosage and was selected for the third experiment. The third experiment was conducted under

Ref. code: 25636209034518RVM

completely randomized design (CRD) with 4 treatments and 3 replications. Treatments were consisting of T1: No shading (Control), and T2-T4: shading 20, 40 and 60 %. The results showed that the application of 40% shading gave the highest growth and yield of azolla. According to the result of the three experiments, application of 20.16 gN/m^2 pig manure together with 40% shading was suitable for azolla cultivation. Moreover, for the comparison between the process of this research compared to the method of Department of Agriculture of Thailand that using 1.27 kg/m^2 of cow manure covered with insect net, the results revealed that the application of 20.16 gN/m^2 pig manure together with 40% shading gave the 16% higher fresh weight (1,842.60 g/0.5m^2 /month) of azolla than that of Department of Agriculture of Thailand's method. In addition to the analysis of azolla chemical properties, it was shown that the total nitrogen, phosphorus and potassium in azolla tissues were 4.92, 0.75 and 4.08 %, respectively.

Keywords: azolla, animal manure, macro nutrients, yield

Ref. code: 25636209034518RVM

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ท่านแรกที่ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนตรวจสอบปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.พฤกษ์ ชุติมานุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวรรณ์ เชื้อบุญ กรรมการวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ร่มแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอบพระคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ที่อำนวยความสะดวกและอนุเคราะห์อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ด้วยดี ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ชาวเกษตรอินทรีย์ทุกคนที่เป็นกำลังใจในการเรียนและการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ครอบครัวตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้มาจวบจนปัจจุบัน

นางสาวพัชนี วิมูลชาติ

Ref. code: 25636209034518RVM

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แหนแดง	4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	4
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมี	5
2.1.3 การปลดปล่อยธาตุอาหารและการสลายตัว	6
2.1.4 การใช้ประโยชน์	6
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง	7
2.2.1 น้ำ	7
2.2.2 อุณหภูมิ	8
2.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์	8

Ref. code: 25636209034518RVM

2.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8
2.2.5 ความเข้มของแสง 8
2.2.6 แหล่งของธาตุอาหาร 9

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 11

3.1 ศึกษาชนิดของมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง 11
3.1.1 การวางแผนการทดลอง 11
3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง 12
3.1.2.1 บ่อสำหรับเพาะเลี้ยงแหนแดง 12
3.1.2.2 พันธุ์แหนแดง 12
3.1.2.3 ดินสำหรับการทดลอง 12
3.1.2.4 มูลสัตว์สำหรับการทดลอง 14
3.1.3 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงแหนแดง 14
3.1.4 การบันทึกผล 15
3.1.4.1 สภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงแหนแดง 15
3.1.4.2 การเจริญเติบโต 15
3.1.4.3 ปริมาณผลผลิต 16
3.1.4.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ 16
3.1.4.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง 16
3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 20
3.2 ศึกษาอัตราการใช้มูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง 20
3.3 ศึกษาความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง 21
3.4 ศึกษากระบวนการผลิตแหนแดงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อเป็นต้นแบบของการผลิตแหนแดงเพื่อใช้ในการเกษตร 22
3.4.1 การวางแผนการทดลอง 22
3.4.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง 22
3.4.2.1 บ่อสำหรับเพาะเลี้ยงแหนแดง 22

Ref. code: 25636209034518RVM

3.4.2.2 ดินสำหรับการทดลอง 22
3.4.2.3 มูลสัตว์สำหรับการทดลอง 22
3.4.3 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงแหนแดง 23
3.4.4 การบันทึกผล 23
3.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 23
3.5 สถานที่ทำการทดลอง 23
3.6 ระยะเวลาทำการทดลอง 23

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 24

4.1 ผลการศึกษาชนิดของมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง 24
4.1.1 สภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง 24
4.1.2 การเจริญเติบโต 24
4.1.3 ปริมาณผลผลิต 27
4.1.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ 28
4.1.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง 29
4.2 ผลการศึกษาอัตราการใช้มูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง 31
4.2.1 สภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง 31
4.2.2 การเจริญเติบโต 31
4.2.3 ปริมาณผลผลิต 32
4.2.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ 34
4.2.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง 35
4.3 ผลการศึกษาความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง 38
4.3.1 สภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง 38
4.3.2 การเจริญเติบโต 39
4.3.3 ปริมาณผลผลิต 41
4.3.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ 42
4.3.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง 43

Ref. code: 25636209034518RVM

4.4 ผลการศึกษากระบวนการผลิตแหนแดงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อเป็นต้นแบบของการผลิตแหนแดงเพื่อใช้ในการเกษตร 46
4.4.1 การเจริญเติบโต 46
4.4.2 ปริมาณผลผลิต 47
4.4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ 48
4.4.4 สมบัติทางเคมีของแหนแดง 49

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 54

5.1 สรุปผลการวิจัย 54
5.2 ข้อเสนอแนะ 54

รายการอ้างอิง 55

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ต้นทุนการเพาะเลี้ยงแหนแดงด้วยวงบ่อซีเมนต์ 62

ประวัติผู้เขียน 63

Ref. code: 25636209034518RVM

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแหนแดงโดยน้ำหนักแห้ง 5

3.1 อัตราการใส่มูลโคและมูลสุกรในแต่ละสิ่งทดลอง 12

3.2 สมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง 13

3.3 สมบัติทางเคมีของมูลสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง 14

3.4 อัตราการใส่มูลสุกรในแต่ละสิ่งทดลอง 21

3.5 ธาตุอาหารในมูลสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง 22

4.1 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน 26

4.2 ผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในแหนแดง และน้ำหนักแห้งสุทธิของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน 28

4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน 29

4.4 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน 30

4.5 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน 31

4.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน 33

4.7 ผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในแหนแดง และน้ำหนักแห้งสุทธิของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน 34

4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน 35

4.9 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่ 37

4.10 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน 37

4.11 ความเข้มแสงและอุณหภูมิน้ำของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน 38

4.12 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน 40

Ref. code: 25636209034518RVM

4.13 ผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในแหนแดง และน้ำหนักแห้งสุทธิของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน 42
4.14 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน 43
4.15 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน 44
4.16 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน 45
4.17 ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน 46
4.18 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน 47
4.19 ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่าของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน 47
4.20 ปริมาณผลผลิตของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน 48
4.21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน 49
4.22 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน 50
4.23 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน 51
4.24 สรุปการเปรียบเทียบผลผลิตแหนแดงระหว่างการเพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน 52
4.25 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของแหนแดงกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย 53

ตารางผนวกที่

ก.1 ต้นทุนการเพาะเลี้ยงแหนแดงด้วยวงบ่อซีเมนต์ 10 บ่อ เป็นเวลา 1 เดือน 62

Ref. code: 25636209034518RVM

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 แผนที่ชุดดินของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างดิน	13
4.1 แหนแดงที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดงเนื่องจากขาดธาตุอาหาร	25
4.2 ค่าความเข้มแสงระหว่างการทดลอง	38

Ref. code: 25636209034518RVM

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แหนแดง (Azolla) เป็นพืชตระกูลเฟิร์นที่มีขนาดเล็กและเจริญเติบโตลอยอยู่ใต้ผิวน้ำซึ่งพบทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่น ทั้งนี้ในโพรงใบของแหนแดงจะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกันและสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้และเก็บสะสมไว้ในแหนแดง ซึ่งทำให้แหนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 3-4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (ศิราภรณ์ และฐปน , 2562) ในปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้แหนแดงเป็นปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยชีวภาพสำหรับการผลิตพืชเพื่อทดแทนปุ๋ยไนโตรเจน โดยพบว่า การใช้แหนแดงอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่หลังการหว่านข้าว 20 วัน ทำให้ผลผลิตข้าวมีค่าไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (พัชรีและธนิดา, 2556) ทั้งนี้ศิริลักษณ์ และประไพ (2557) รายงานว่า แหนแดงมีอัตราการย่อยสลายเร็วเนื่องจากมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ที่ต่ำ จึงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้มากโดยเฉพาะไนโตรเจน และโพแทสเซียม อีกทั้งยังพบการนำแหนแดงไปใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตเป็นวัสดุพาสำหรับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต โดยจากการวิจัยของ Tejaswini et al. (2015) ที่ศึกษาการใช้แหนแดงผสมลงในวัสดุปลูกอัตราต่างๆ เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่าการใช้แหนแดงสด 25 กรัม ผสมร่วมกับวัสดุปลูก 4 กิโลกรัม ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดถั่วแขกมากที่สุด คือ 81.66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี (65.66 เปอร์เซ็นต์) อีกทั้ง Lestari et al. (2019) ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักแหนแดงช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ กล่าวคือ การใช้ปุ๋ยหมักแหนแดง 128 กรัม ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 0.37 กรัมต่อถุงปลูก ทำให้ผักกาดมีการเจริญเติบโตทั้งทางด้านความสูงต้น จำนวนใบ ความยาวใบ และน้ำหนักสดไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยหมักแหนแดง 32 กรัม ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 1.5 กรัมต่อถุงปลูก นอกจากนี้ Widiastuti et al. (2016) ยังพบว่า การใช้แหนแดงยังสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยมูลไก่ได้ โดยพบว่า ผลผลิตของผักปวยเล้งมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างการใช้แหนแดงและปุ๋ยมูลไก่ที่ระดับไนโตรเจนเดียวกัน และจากการศึกษาของพีรยุทธ และคณะ (2559) ยังพบว่า การใช้แหนแดงแห้งผสมในวัสดุปลูก (ดิน:ขุยมะพร้าว:ถ่านแกลบ 2:1:1) อัตรา 16 กรัม ต่อวัสดุปลูก 1 กิโลกรัม สามารถช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของกล้าต้นกล้วยที่ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุมที่ใช้วัสดุปลูก 100% และสิ่งทดลองที่ฉีดพ่นสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอัตราการรอดชีวิตอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การใช้แหนแดงนอกจากจะเพิ่มอัตราการรอดชีวิตแล้ว ยัง

Ref. code: 25636209034518RVM

ทำให้ระยะเวลาในการแทงปลีของต้นกล้วยเร็วขึ้นคือประมาณ 10 เดือนหลังย้ายปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ ที่ใช้เวลาประมาณ 11 เดือน อย่างไรก็ตาม นอกจากจะมีการใช้แหนแดงผสมเป็นวัสดุปลูกหรือปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการเพาะปลูกพืชแล้ว ยังมีการใช้แหนแดงแห้งผสมในอาหารสัตว์ เช่น อาหารไก่เนื้อ (กุลยาภัสร และคณะ, 2555) อาหารปลานิล (อนุรักษ์ และคณะ, 2555) และอาหารสุกร (สายัณห์, 2554) เป็นต้น

ในปัจจุบัน *A. microphylla* ถือเป็นชนิดของแหนแดงที่กำลังได้รับความนิยมในประเทศไทย โดยกรมวิชาการเกษตรได้พัฒนาชนิดดังกล่าวขึ้นมาซึ่งมีคุณสมบัติเด่นคือ ขยายพันธุ์ได้รวดเร็วและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตาม การเพาะเลี้ยงแหนแดงมักขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ น้ำ อุณหภูมิ แสงสว่าง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น และธาตุอาหารที่แหนแดงต้องการเพื่อการเจริญเติบโต (Sadeghi et al., 2013) ซึ่งการวิจัยส่วนใหญ่เป็นการใช้ชนิดมูลสัตว์ที่แตกต่างกันและอยู่ในสภาวะที่เฉพาะเจาะจงกับแต่ละพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น Indira et al. (2014) พบว่า การใช้มูลโคอัตรา 4 กิโลกรัม สำหรับบ่อขนาด 2x2x0.2 เมตร ทำให้ผลผลิตแหนแดง *A. pinnata* มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้มูลแกะ มูลไก่ และมูลสุกร นอกจากนี้ Utomo et al. (2019) ที่ศึกษาการใช้มูลสัตว์ชนิดต่างๆ ในการเพาะเลี้ยงแหนแดง *A. pinnata* ยังพบว่า ชนิดของมูลสัตว์ส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโปรตีนของแหนแดง โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไก่หรือมูลกระต่าย ทำให้แหนแดงมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้ง และปริมาณโปรตีนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักมูลแพะ อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าแหล่งของธาตุอาหารที่เป็นมูลสัตว์ส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกันและมีความเฉพาะเจาะจงกับพื้นที่ อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้มูลสัตว์อย่างมูลโคหรือมูลสุกรที่ได้จากการเลี้ยงแบบเปิด (ตามแนวทางเกษตรอินทรีย์) สำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดงซึ่งอาจทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีความแตกต่างจากการใช้มูลสัตว์ที่มีการเลี้ยงแบบทั่วไป (แบบเคมี) อีกทั้งจากการศึกษาของ Abduh et al. (2017) ยังพบว่า ความเข้มของแสงมีผลต่อทั้งการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนที่สะสมในแหนแดง *A. microphylla* โดยพบว่า ค่าแสง 1,202-44,945 ลักซ์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของแหนแดงสูงที่สุด และมีระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (doubling time) สั้นที่สุด อีกทั้งยังพบว่า ทำให้แหนแดงมีการสะสมของปริมาณโปรตีนมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ยังมีการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงแหนแดงในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ตั้งแต่ การศึกษาอัตราส่วนของมูลสัตว์ที่ใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับแหนแดง ได้แก่ มูลโคและมูลสุกรซึ่งราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น รวมทั้งศึกษาอัตราการใช้มูลสัตว์และปริมาณความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารของแหนแดง เพื่อเป็นแนวทางในการเพาะเลี้ยงแหนแดงให้ได้ทั้งปริมาณและคุณภาพต่อไป

Ref. code: 25636209034518RVM

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาชนิดของมูลสัตว์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

1.2.2 ศึกษาอัตราการใช้มูลสัตว์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

1.2.3 ศึกษาการพรางแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

1.2.4 ศึกษากระบวนการผลิตแหนแดงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อเป็นต้นแบบของการผลิตแหนแดง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงชนิดและอัตราการใช้มูลสัตว์ที่เหมาะสมต่อการผลิตแหนแดง

1.3.2 ทราบถึงการพรางแสงที่เหมาะสมต่อการผลิตแหนแดง

1.3.3 ทราบถึงกระบวนการผลิตแหนแดงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อเป็นต้นแบบของการผลิตแหนแดงเพื่อใช้ในการเกษตร

Ref. code: 25636209034518RVM

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหนแดง

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แหนแดง (azolla) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Azolla* spp. เป็นพืชตระกูลเฟิร์นชนิดลอยน้ำ เจริญเติบโตลอยอยู่บนผิวน้ำที่มีน้ำขัง พบในเขตร้อนและเขตอบอุ่น แหนแดงประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ลำต้น ราก และใบ โดยลำต้นมีขนาดประมาณ 0.5-0.7 เซนติเมตร และยาวได้มากถึง 40 เซนติเมตร แหนแดงมีกิ่งแยกจากลำต้น ใบของแหนแดงเกิดตามกิ่งเรียงสลับกันไปที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ใบบน (upper lobe) และใบล่าง (lower lobe) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกันและแต่ละใบจะไม่มีก้านใบ ใบล่างค่อนข้างโปร่งแสงและมีคลอโรฟิลล์ค่อนข้างน้อย ส่วนใบบนเป็นสีเขียวมีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนรากจะแตกออกเป็นเส้นสีขาวจากโคนหรือจุดศูนย์กลางของลำต้นและลอยดิ่งอยู่ในน้ำ หากน้ำตื้นรากก็จะฝังลงไปในดินโคลนได้ ใบแหนแดงมีลักษณะพิเศษคือ ใบบนจะมีโพรงใบซึ่งเป็นที่อยู่ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena azollae*) ในลักษณะพึ่งพาอาศัยกัน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อาศัยในโพรงใบของแหนแดง สามารถตรึงไนโตรเจนและทำการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียม ซึ่งแหนแดงสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเติบโตได้ เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเช่นปริมาณความเข้มแสงที่มากเกินไปหรือปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอ แหนแดงจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลอมแดง (Sadeghi et al., 2013) แหนแดงที่พบอยู่ทั่วโลกมีอยู่ 7 ชนิด ได้แก่ *A. filiculoides*, *A. caroliniana*, *A. Mexicana*, *A. rubra*, *A. microphylla*, *A. nilotica* และ *A. pinnata* (Yadav et al., 2014) สำหรับในประเทศไทยนิยมเพาะเลี้ยงแหนแดงอยู่ 2 ชนิด คือ *A. pinnata* ซึ่งเป็นพันธุ์ดั้งเดิมในประเทศไทย และ *A. microphylla* ซึ่งกรมวิชาการเกษตรนำเข้ามาเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ตรึงไนโตรเจนได้มาก ขยายพันธุ์ได้รวดเร็วขึ้น และมีสามารถเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2562) ทั้งนี้แหนแดงสามารถสืบพันธุ์ได้ 2 วิธี (กมลวรรณ และคณะ, 2554) ได้แก่ แบบไม่อาศัยเพศ โดยแบ่งตัวออกจากต้นแม่แล้วเจริญเป็นต้นเล็กๆ ซึ่งจะเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่า ในเวลาเพียง 3-6 วัน และแบบอาศัยเพศที่เกิดขึ้นน้อยกว่าแบบไม่อาศัยเพศ และจะเกิดเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยแหนแดงจะสร้างอับสปอร์ 2 ชนิด คือ Microsporocarp บรรจุสปอร์เพศผู้จำนวนมาก และ Megasporocarp บรรจุสปอร์เพศเมียเพียง 1 สปอร์ และเมื่ออับสปอร์แก่ อับสปอร์จะร่วงลงสู่น้ำ

Ref. code: 25636209034518RVM

และพักตัวในระยะหนึ่ง และเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม อับสปอร์ทั้งสองจะทำการผสมกันจนเกิดเป็นต้นอ่อน พร้อมกับลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและเติบโตต่อไป

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาของศิริลักษณ์ และประไพ (2557) เกี่ยวกับสมบัติทางเคมีของแหนแดง (*A. microphylla*) พบว่า แหนแดงมีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมรวมสูง กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 4.69 และ 5.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้แหนแดงยังประกอบไปด้วยธาตุอาหารรองและจุลธาตุหลากหลายชนิด เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น ซึ่งถือเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งยังมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 19.5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแหนแดงโดยน้ำหนักแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
Total N (%)	4.69
Total P (%)	0.65
Total K (%)	5.01
Total Ca (%)	2.46
Total Mg (%)	3.37
Fe (%)	0.20
Cu (mg/kg)	13.78
Zn (mg/kg)	59.66
Mn (%)	0.18
pH	5.90
OM (%)	22.30
C:N ratio	12.97
Dry matter (%)	86.40
Crude protein (%)	19.50
Crude fiber (%)	12.90
Ash (%)	13.40
Lignin (%)	24.20

ที่มา: ศิริลักษณ์ และประไพ (2557)

Ref. code: 25636209034518RVM

2.1.3 การปลดปล่อยธาตุอาหารและการสลายตัว

เนื่องจากแหนแดงมีอัตราส่วน C/N ratio ค่อนข้างแคบหรือมีค่าน้อย ทำให้ย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารได้ค่อนข้างเร็ว ซึ่งจากการศึกษาของศิราภรณ์ และคณะ (2560) พบว่า การใช้ประโยชน์จากแหนแดงในการปรับปรุงดิน ควรใช้แหนแดงที่อายุประมาณ 1-2 สัปดาห์ เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่แหนแดงมีธาตุอาหารสะสมในเนื้อเยื่อมากที่สุด และมีปริมาณการสะสมลิกนินในเนื้อเยื่อไม่มากทำให้ง่ายต่อการย่อยสลาย โดยแหนแดงสามารถย่อยสลายได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาเพียง 6 สัปดาห์ และจะถูกย่อยสลายหมดในระยะเวลา 13 สัปดาห์ สำหรับการปลดปล่อยไนโตรเจน สามารถปลดปล่อยได้ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งนี้การสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของแหนแดงมักแตกต่างกันไปตามลักษณะของดิน โดยศิริลักษณ์ และประไพ (2553) รายงานว่า ในชุดดินร้อยเอ็ดที่สภาพความจุความชื้นสนาม แหนแดงจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรทสูงกว่าและนานกว่าชุดดินตาคลีที่สภาพขังน้ำ

2.1.4 การใช้ประโยชน์ของแหนแดง

แหนแดงถือเป็นพืชที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายประการซึ่งมีรายงานการใช้ประโยชน์ดังนี้

(1) ใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าว ทั้งนี้แหนแดงสามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้เร็ว ซึ่งสามารถให้ผลผลิตน้ำหนักสดได้ถึง 3 ตันต่อไร่ ภายในระยะเวลา 3 สัปดาห์ ด้วยอัตราเริ่มต้นของแหนแดงเพียง 100 กิโลกรัมต่อไร่ อีกทั้งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อาศัยอยู่ในโพรงใบของแหนแดงยังสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้กับพืชปลูกได้อีกทางหนึ่ง (ประยูร, 2530)

(2) ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Syamsiyah et al., 2016)

(3) แหนแดงสามารถลดปริมาณวัชพืชในนาข้าวได้เนื่องจากแหนแดงจะคลุมผิวน้ำป้องกันไม่ให้แสงแดดส่องลงไปในน้ำ ทำให้วัชพืชในน้ำเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ (คมสัน และคณะ, 2542)

(4) ใช้ในการผสมเป็นวัสดุเพาะกล้าเพื่อเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด ดังเช่นการศึกษาของ Tejaswini et al. (2015) ที่พบว่า การใช้แหนแดงสด 25 กรัม ผสมกับวัสดุปลูก 4 กิโลกรัม ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดถั่วแขกมากที่สุด คือ 81.66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่แหนแดง (64.66 เปอร์เซ็นต์) และการใช้ปุ๋ยเคมี (65.66 เปอร์เซ็นต์)

(5) ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากแหนแดงมีค่า C/N ratio ต่ำ ทำให้สามารถย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องผ่านการทำเป็นปุ๋ย

Ref. code: 25636209034518RVM

หมัก และยังเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินได้อีกทางหนึ่ง (Khan, 1983) โดยมีรายงานว่าการใช้ปุ๋ยหมักแหนแดงให้ผลผลิตที่ดีกับพืชผัก เช่น มะเขือเทศเชอรี่ บร็อคโคลี่ และผักปวยเล้ง เป็นต้น (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2553; Widiastuti et al.,2016; Barus et al., 2018)

(6) ใช้ผสมกับวัสดุปลูกสำหรับการเพาะกล้าต้นกล้วย โดยพบว่า การใช้แหนแดงผสมกับวัสดุปลูก (ดิน:ขุยมะพร้าว:ถ่านแกลบ 2:1:1 โดยปริมาตร) ในอัตรา 16 กรัม ต่อวัสดุปลูก 1 กิโลกรัม ที่บรรจุในถุงปลูกขนาด 3.5×6 นิ้ว สำหรับการเพาะต้นกล้ากล้วยที่ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำให้สามารถช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของกล้าต้นกล้วยที่ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุมที่ใช้วัสดุปลูกอย่างเดียว และสิ่งทดลองที่ฉีดพ่นสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ วันละ 1 ครั้ง ห่างกันทุก 3 วัน ซึ่งมีอัตราการรอดชีวิตอยู่ที่ 80เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใช้แหนแดงนอกจากจะเพิ่มอัตราการรอดชีวิตแล้ว ยังทำให้ระยะเวลาในการแทงปลีของต้นกล้วยเร็วขึ้นคือประมาณ 10 เดือนหลังย้ายปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ ที่ใช้เวลาประมาณ 11 เดือน (พีรยุทธ และคณะ, 2559)

(7) ใช้ผสมเป็นวัสดุพาสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต เนื่องจากแหนแดงมีกรดอะมิโนที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น Aspatic acid และ Glutamic acid ที่เป็นแหล่งของอินทรีย์ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (ศิริลักษณ์ และประไพ, 2557)

(8) ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากแหนแดงมีกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณที่สูงจึงเหมาะกับการใช้เป็นอาหารสัตว์จำพวกเป็ด ไก่ ปลา หรือสุกร (สายัณห์, 2554; กุลยาภัสร์ และคณะ, 2555; อนุรักษ์ และคณะ, 2555; Anitha et al, 2016)

(9) ใช้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (พันธ์ทิพย์ และคณะ, 2558; ศิราภรณ์ และฐปน, 2562)

(10) ใช้เป็นพืชดูดซับโลหะหนัก เนื่องจากแหนแดงมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิด เช่น โครเมียม สังกะสี นิกเกิล แคดเมียม ทองแดง และยูเรเนียม เป็นต้น (Sachdeva and Sharma, 2012)

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

2.2.1 น้ำ

เนื่องจากแหนแดงเป็นเฟิร์นชนิดลอยน้ำ ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะเลี้ยงแหนแดง แหนแดงเจริญเติบโตได้ดีในน้ำนิ่งหรือมีการไหลของน้ำอย่างช้าๆ เนื่องจากหาก

Ref. code: 25636209034518RVM

เกิดลมแรงหรือผิวน้ำถูกรบกวนมาก จะส่งผลการแตกกระจายของแหนแดงออกจากกัน ทำให้การเจริญเติบโตและการตรึงไนโตรเจนมีค่าลดลงเป็นอย่างมาก (Sadeghi et al., 2013) นอกจากนี้ ความหนาแน่นของแหนแดงที่ลอยอยู่บนผิวน้ำยังมีผลต่อการตรึงไนโตรเจนของแหนแดง โดย Tantawy and Fahmy (2005) พบว่า หากแหนแดงมีความหนาแน่นมากเกินไปจะลดการทำงานของเอ็นไซม์ไนโตรจิเนส อย่างไรก็ตามพบว่า ระดับความลึกของน้ำอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากในการเจริญเติบโต รากของแหนแดงยังคงมีการใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยาเมทาบอลิซึมต่างๆ ดังนั้นระดับน้ำที่ใช้ไม่ควรลึกเกินไป ซึ่งระดับน้ำที่เหมาะสมควรมีความลึกประมาณ 10-30 เซนติเมตร (Bairagi et al., 2002) ทั้งนี้จากการศึกษาของนันทกร (2536) พบว่า การใช้ระดับน้ำที่ความลึก 10 เซนติเมตร ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตดีที่สุด

2.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงคือ 18-28 องศาเซลเซียส ซึ่งหากอุณหภูมิที่สูงเกิน 35 องศาเซลเซียส จะทำให้การเจริญเติบโตของแหนแดงลดลง (Tuan and Thuyet, 1979) อย่างไรก็ตาม แหนแดงแต่ละชนิดมีความทนทานอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (Uheda et al., 1999) โดยจากการศึกษาของ Arora and Singh (2003) พบว่า *A. microphylla* สามารถทนต่ออุณหภูมิทั้งสูงและต่ำได้ดีกว่าชนิดอื่นๆ

2.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์

จากการศึกษาของ Biswas et al. (2005) พบว่า แหนแดงเจริญเติบโตได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ และหากความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ แหนแดงจะแห้งและเปราะง่าย (Bocchi and Malgioglio, 2010)

2.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

แหนแดงสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 3.5-10 (Serag et al., 2000) ซึ่งการตอบสนองต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของแหนแดงจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง และธาตุอาหาร (Wagner, 1997) โดยทั่วไป แหนแดงเจริญได้ดีในสภาวะเป็นกรดถึงเป็นกลาง หรือมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ประมาณ 4.5-7.5 (Carry and Weerts, 1992) สำหรับแหนแดง *A. microphylla* พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 4.0-4.5 ทำให้แหนแดงชนิดนี้มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด (ปทุมมาลย์ และคณะ, 2561)

2.2.5 ความเข้มของแสง

แหนแดงเป็นพืชน้ำที่ต้องการแสงสว่างเพื่อการสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโต แสงที่เพียงพอจะช่วยให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตและมีการตรึงไนโตรเจนได้ดี ซึ่งหากความเข้มแสงมีค่าต่ำกว่าช่วง 10,000-13,000 ลักซ์ จะทำให้การตรึงไนโตรเจนลดลง (Bar et al., 1991; Costa et al., 2009) และหากความเข้มแสงต่ำกว่า 1500 ลักซ์ จะทำให้ผลผลิตของ

Ref. code: 25636209034518RVM

แหนแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Liu et al., 2008) อย่างไรก็ตามหากแหนแดงได้รับแสงสว่างมากเกินไปจะส่งผลต่อการคายน้ำและการขาดน้ำของแหนแดงได้ อย่างไรก็ตาม ความต้องการแสงของแหนแดงยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งจากการศึกษาของ Tuan and Thuyet (1979) พบว่า การเลี้ยงแหนแดงที่สภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 และมีปริมาณความเข้มแสงมากจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของแหนแดงได้ ในขณะที่หากเพาะเลี้ยงแหนแดงในสภาพความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6-7 ความเข้มแสงที่ระดับดังกล่าวจะทำให้การเจริญเติบโตของแหนแดงลดลง อย่างไรก็ตามหากความเข้มแสงเกิน 90,000 ลักซ์ จะทำให้การตรึงไนโตรเจนลดลง และจากการวิจัยของ Abduh et al. (2017) ที่ศึกษาการเพาะเลี้ยงแหนแดงในสารละลายที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 5.5 โดยใช้วัสดุพรางแสงที่ต่างกัน ได้แก่ พลาสติกใสไวนิล แผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีน และตาข่ายพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า วัสดุที่เหมาะสมในการใช้พรางแสงสำหรับเพาะเลี้ยงแหนแดง คือ แผ่นไวนิลที่ทำให้ได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 465 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีค่าแสง 1,202-44,945 ลักซ์ ซึ่งทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของแหนแดงสูงที่สุด และมีระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (doubling time) สั้นที่สุด อีกทั้งยังพบว่า ทำให้แหนแดงมีการสะสมของปริมาณโปรตีนมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาดังกล่าวยังไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในแหนแดง ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่มีผลจากการได้รับความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งในประเทศไทยการเพาะเลี้ยงแหนแดงส่วนใหญ่มักพรางแสงในช่วง 30-50 เปอร์เซ็นต์ (รับแสงประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ของแสงสว่างทั้งหมด) (พืชเกษตร, 2559)

2.2.6 แหล่งของธาตุอาหาร

แหนแดงมีความต้องการธาตุอาหารไม่ต่างกับพืชโดยทั่วไป โดยพบว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงและเป็นธาตุที่แหนแดงมักแสดงอาการขาด (El Katony et al., 1996) ในขณะที่ไนโตรเจนเป็นธาตุที่แหนแดงต้องการน้อยเนื่องจากตรึงได้เอง (Costa et al., 2009) โดยจากการรายงานของ Handajani (2011) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงมีค่าเท่ากับ 10 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งทำให้แหนแดงมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ในขณะที่การให้ไนโตรเจน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้แหนแดงมีปริมาณโปรตีนที่สูงที่สุด อย่างไรก็ตามแหนแดงยังต้องการธาตุอาหารอื่นๆ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม (Sadeghi et al., 2013) และจุลธาตุต่างๆ โดยพบว่า โคบอลและโมลิบดินัมมีบทบาทสำคัญต่อการตรึงไนโตรเจนของแหนแดง (Zahran et al., 2007) อีกทั้งจากการรายงานของปทุมมาลย์ และคณะ (2561) ที่ศึกษาความเข้มข้นของโมลิบดีนัมต่อการเจริญเติบโตและการตรึงไนโตรเจนของแหนแดง ซึ่งจากผลการทดลอง แม้ว่า

Ref. code: 25636209034518RVM

ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมตั้งแต่ 0.3-0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแหนแดง แต่พบว่า ทำให้แหนแดงมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเพาะเลี้ยงแหนแดงส่วนใหญ่นิยมทำในบ่อดินโคลน หรือใส่ในกระถางหรือวงบ่อซีเมนต์ ซึ่งแหล่งของธาตุอาหารส่วนใหญ่นิยมใช้มูลสัตว์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น มูลวัว มูลไก่ มูลสุกร ทั้งนี้จากการศึกษาของ Utomo et al. (2019) ที่ศึกษาการเพาะเลี้ยงแหนแดง *A. pinnata* ด้วยปุ๋ยหมักมูลสัตว์ชนิดต่างๆ ได้แก่ ปุ๋ยหมักมูลไก่ ปุ๋ยหมักมูลกระต่าย และปุ๋ยหมักมูลแพะ พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักมูลไก่หรือมูลกระต่ายที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ทำให้แหนแดง *A. pinnata* มีปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งมากที่สุดในการเก็บเกี่ยวภายใน 28 วัน คือ 20.80 และ 20.00 กรัม ต่อพื้นที่ 2,500 ตารางเซนติเมตร (เก็บเกี่ยวทุก 14 วัน) และยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ทั้ง 2 ชนิด ทำให้แหนแดง *A. pinnata* มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือประมาณ 25-26 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของปริศนา (2560) พบว่า การใส่มูลนกกระทาผสมกับมูลโค และมูลค้างคาวผสมกับมูลโคที่อัตราส่วน 1:3 ปริมาณ 1-1.5 กิโลกรัม ต่อการเพาะแหนแดงในวงบ่อซีเมนต์ขนาด 0.79 ตารางเมตร ซึ่งมีระดับไนโตรเจนรวมอยู่ในช่วง 22.47-38.69 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร (ไนโตรเจนในมูลค้างคาว, มูลนกกระทา และมูลโคประเมินจาก N=3.05%, 4.10% และ 1.35% ตามลำดับ) ทำให้แหนแดงมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใส่มูลไก่ผง มูลไก่ปั้นเม็ด มูลสุกร และมูลโค 100เปอร์เซ็นต์ และพบว่า การหมักหรือไม่หมัก EM ก่อนนำลงบ่อไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของแหนแดง นอกจากนี้จากการศึกษาของศิราภรณ์ และฐปน (2562) ยังพบว่า การใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงเจริญเติบโตดีที่สุด และพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงแหนแดงอยู่ที่ประมาณ 1-2 สัปดาห์ ซึ่งทำให้น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และการสะสมธาตุอาหารของแหนแดงสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม แหล่งของธาตุอาหารที่เป็นมูลสัตว์ส่วนใหญ่อาจมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกันและมีความเฉพาะเจาะจงกับพื้นที่และลักษณะของการเพาะเลี้ยงแหนแดง และพบว่าจากการศึกษาก่อนหน้าที่แนะนำให้ใช้มูลค้างคาวหรือมูลนกกระทากับมูลโค อาจมีข้อจำกัดต่อการใช้เนื่องจากหายากหรือมีราคาแพง นอกจากนี้ยังไม่มีการรายงานเกี่ยวกับการใช้มูลสัตว์ที่มีลักษณะการเลี้ยงแบบเปิดหรือเป็นการเลี้ยงสัตว์ตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ มาใช้ในการเลี้ยงแหนแดง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจะทำให้ได้มูลสัตว์ที่มีคุณภาพ ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของแหนแดง และอาจเหนี่ยวนำให้แหนแดงมีการสะสมของธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุอาหารหลักอย่างไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งจะสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเผยแพร่กับการเลี้ยงแหนแดงที่สามารถนำไปดัดแปลงเป็นวัสดุปลูกหรือปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการปลูกพืชอินทรีย์ได้ต่อไป

Ref. code: 25636209034518RVM

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 ศึกษาชนิดของมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

3.1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ (บ่อ) ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 ไม่ใส่มูลสัตว์ (Control)

สิ่งทดลองที่ 2 ใส่มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1,266 กรัมต่อตารางเมตร

สิ่งทดลองที่ 3 ใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1,266 กรัมต่อตารางเมตร

สิ่งทดลองที่ 4 ใส่มูลโคและมูลสุกรอัตราส่วน 25:75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตรา 1,266 กรัมต่อตารางเมตร

สิ่งทดลองที่ 5 ใส่มูลโคและมูลสุกรอัตราส่วน 50:50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตรา 1,266 กรัมต่อตารางเมตร

สิ่งทดลองที่ 6 ใส่มูลโคและมูลสุกรอัตราส่วน 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตรา 1,266 กรัมต่อตารางเมตร

อัตราการใช้อ้างอิงจากการวิจัยของปริศนา (2560) ที่พบว่า การเพาะเลี้ยงแหนแดงสำหรับวงบ่อซีเมนต์ที่มีพื้นที่ 0.79 ตารางเมตร ปริมาณมูลโคและมูลสุกรที่เหมาะสม คือ 1 กิโลกรัม คิดเป็น 1,266 กรัมต่อตารางเมตร สำหรับบ่อขนาด 0.30 ตารางเมตร จึงคำนวณปริมาณการใส่ตามสิ่งทดลองที่กำหนด (ตารางที่ 3.1)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 3.1 อัตราการใส่มูลโคและมูลสุกรในแต่ละสิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	อัตราการใส่ (กรัมต่อตารางเมตร)	ปริมาณมูลสัตว์ที่ใส่ (กรัมต่อบ่อ 0.30 ตารางเมตร)
สิ่งทดลองที่ 1 ไม่ใส่มูลสัตว์ (Control)	-	-
สิ่งทดลองที่ 2 มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์	1,266	380
สิ่งทดลองที่ 3 มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์	1,266	380
สิ่งทดลองที่ 4 มูลโคและมูลสุกรอัตราส่วน 25:75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก		
มูลโค	316	95
มูลสุกร	950	285
สิ่งทดลองที่ 5 มูลโคและมูลสุกรอัตราส่วน 50:50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก		
มูลโค	633	190
มูลสุกร	633	190
สิ่งทดลองที่ 6 มูลโคและมูลสุกรอัตราส่วน 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก		
มูลโค	950	285
มูลสุกร	316	95

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3.1.2.1 บ่อสำหรับเพาะเลี้ยงแหนแดง

ใช้บ่อซีเมนต์สี่เหลี่ยมขนาด 60x60x40 เซนติเมตร ซึ่งทำให้มีพื้นที่เพาะเลี้ยงจริงที่ขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 55x55x35 เซนติเมตร หรือมีพื้นที่หน้าตัด 3,025 ตารางเซนติเมตร (0.3 ตารางเมตร)

3.1.2.2 พันธุ์แหนแดง

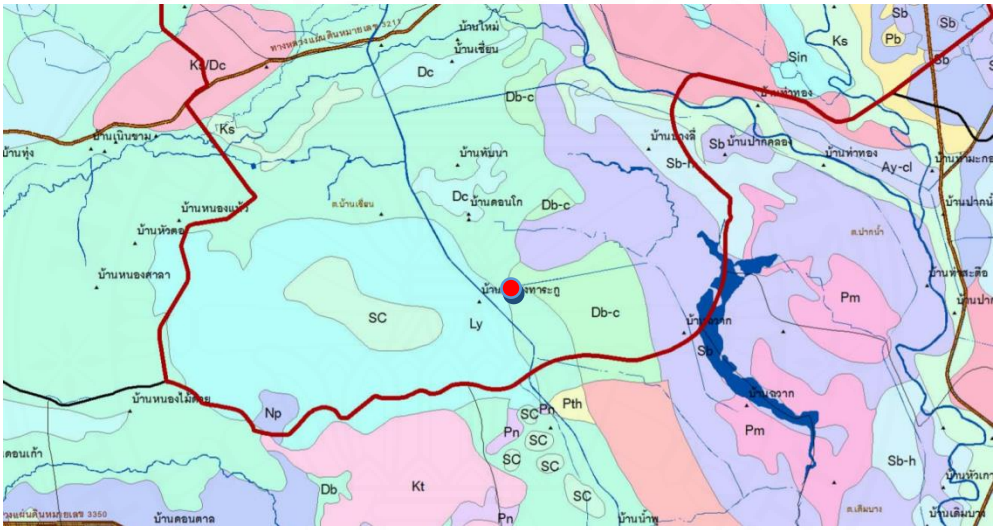
แหนแดงชนิด *A. microphylla* ผลิตโดยกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เพื่อนำขยายพันธุ์และนำมาใช้ในการทดลอง

3.1.2.3 ดินสำหรับการทดลอง

ดินที่ใช้รวบรวมจากแปลงนาของเกษตรกรบ้านหนองทาระกู ตำบลบ้านเชี่ยน อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ซึ่งจากการสำรวจชุดดินของสำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2554) พบว่า เป็นชุดดินลาดหญ้า (Lat Ya Series: Ly; Fine-loamy,

Ref. code: 25636209034518RVM

siliceous, isohyperthermic Kanhaplic Haplustults) ที่มีลักษณะเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) มีปริมาณอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง (ภาพที่ 3.1) ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดินที่ใช้ในการทดลองพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.80 อยู่ในระดับเป็นกลาง มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 1.80 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และพบว่า มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับต่ำ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับสูง ทั้งนี้หากประเมินปริมาณไนโตรเจนในดินจากปริมาณอินทรียวัตถุพบว่า มีค่าประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 3.2)



ภาพที่ 3.1 แผนที่ชุดดินของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างดิน

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์	การแปลผลวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)[1/]	6.80	กลาง
ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (dS/m) [2/]	0.217	ไม่เค็ม
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)[3/]	1.80	ปานกลาง
ฟอสฟอรัส (mg/Kg)[4/]	6	ต่ำ
โพแทสเซียม (mg/Kg)[5/]	120	สูง

[1/]pH (1:10 H_2O); [2/] EC (1:10 H_2O); [3/] OM (Walkley and Black method); [4/] P (Bray II method) [5/] K (extract by NH_4OAc pH7)

Ref. code: 25636209034518RVM

3.1.2.4 มูลสัตว์สำหรับการทดลอง

เป็นมูลโคเนื้อที่เลี้ยงแบบเปิดซึ่งตากแห้งและบรรจุใส่ถุงเพื่อจำหน่าย ณ บ้านเลขที่ 138 หมู่ 2 ตำบลสระกระโจม อำเภอดอนเจดีย์ จังหวัดสุพรรณบุรี และมูลสุกรซึ่งตากแห้งถูกบรรจุและจำหน่ายจากฟาร์มหมูหลุมอินทรีย์วิธีชุมชน ตำบลดอนแร่ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี โดยสมบัติทางเคมีของมูลสัตว์ที่ใช้สำหรับการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สมบัติทางเคมีของมูลสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติทางเคมี	มูลโค	มูลสุกร	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พศ. 2557 กรมวิชาการเกษตร (เพิ่มเติมจาก พ.ศ.2548)
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)[1/]	9.30	7.50	5.5-8.5
ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (dS/m)[2/]	6.63	1.12	≤ 6.0
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)[3/]	41.63	15.90	≥ 30.0
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)[3-4/]	20.80	17.63	≤ 20:1
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)[4/]	1.16	0.52	≥ 1.0
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)[5/]	0.34	0.64	≥ 0.5
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)[6/]	3.31	0.72	≥ 0.5

[1/] pH (1:10 H_2O); [2/] EC (1:10 H_2O); [3/] OM (Walkley and Black method); [4/] ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method); [5/] ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Vanadomolybdate method); [6/] โพแทสเซียมทั้งหมด (wet digestion method)

3.1.3 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงแหนแดง

(1) เตรียมบ่อซีเมนต์ขนาดพื้นที่จริง กว้างxยาวxสูง คือ 55x55x35 เซนติเมตร ซึ่งทำให้ได้พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.30 ตารางเมตร จำนวน 18 บ่อ ล้างให้สะอาด

(2) ใส่ดินลงในบ่อสูงประมาณ 20 เซนติเมตร เติมน้ำเปล่าสูงจากผิวดิน 10 เซนติเมตร ใส่สิ่งทดลองที่เป็นแหล่งธาตุอาหารตามที่กำหนด หมักทิ้งไว้ 2 วัน เพื่อให้มูลสัตว์และดินตกตะกอน

(3) ใส่พันธุ์แหนแดงลงในบ่ออัตรา 30 กรัมต่อบ่อ (ซึ่งก่อนการกำหนดอัตราได้ทำการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การใส่แหนแดงอัตรา 100 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้แหนแดงเจริญเติบโตพอดีกับขนาดของบ่อที่ใช้ในการทดลอง (เมื่อครบระยะเวลา 10 วัน)

Ref. code: 25636209034518RVM

(4) เติมน้ำให้ได้ระดับความลึกของผิวน้ำที่เท่ากับ 10 เซนติเมตร ทุกวันตลอดการทดลองเพื่อทดแทนการระเหย

(5) เก็บเกี่ยวแหนแดงเป็นจำนวน 3 รอบการเก็บเกี่ยว โดยเก็บเกี่ยวทุก 10 วัน (วันที่ 10, 20 และ 30)

3.1.4 การบันทึกผล

3.1.4.1 สภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงแหนแดง

(1) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ บันทึกวันละครั้ง คือ 12.00 น.

(2) ค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของน้ำในบ่อ บันทึกค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ บันทึกที่เวลาเดียวกันก่อนการเติมน้ำในทุกวัน สำหรับอุณหภูมิของน้ำในบ่อ บันทึกวันละครั้ง คือ 12.00 น.

3.1.4.2 การเจริญเติบโต

บันทึกการเจริญเติบโตทุก 10 วัน ตามรอบการเก็บเกี่ยว (วันที่ 10, 20 และ 30) โดยบันทึกระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (doubling time) (Aziz and Watanabe, 1983) ที่มีหน่วยเป็นวัน และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate, RGR) ที่มีหน่วยเป็นต่อวัน (Hunt, 1990) ดังสมการ

ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (doubling time) = t/r (วัน)

โดย t = ระยะเวลาที่เพาะเลี้ยงแหนแดง
r = [log (wt/wo) / 0.301]
wt = น้ำหนักสดของแหนแดงเมื่อเก็บเกี่ยว
wo = น้ำหนักสดของแหนแดงเริ่มต้น

และ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) = $\frac{\ln W2 - \ln W1}{t2 - t1}$ (วัน $^{-1}$)

โดย RGR = ค่าเฉลี่ยของ relative growth rate ในช่วง t1 ถึง t2
ln = natural logarithm
W2, W1 = น้ำหนักสดที่เวลา t2 และ t1
t2, t1 = วันสุดท้ายและวันเริ่มต้นที่ทำการเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้ง

Ref. code: 25636209034518RVM

3.1.4.3 ปริมาณผลผลิต

บันทึกปริมาณผลผลิตทุก 10 วัน ตามรอบการเก็บเกี่ยว (วันที่ 10, 20 และ 30) ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง โดยน้ำหนักแห้งทำการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่

3.1.4.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

บันทึกทุก 10 วัน ตามรอบการเก็บเกี่ยว (วันที่ 10, 20 และ 30) เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีดัดแปลงจาก Forni et al., 2008) โดยนำแหนแดงมาแช่ในไนโตรเจนเหลวและบดตัวอย่างจนละเอียด จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่เติม 80% Acetone ปริมาตร 10 มิลลิลิตร สกัดในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที และนำตัวอย่างสารละลายมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 3,000 รอบ เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำสารละลายใสที่สกัดได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีดัดแปลงจาก Arnon (1949) โดยนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปแทนค่าในสมการเพื่อคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (µg/g FW) ดังนี้

$$\text{Chlorophyll a} = [(12.7A663 - 2.69A645) \times V] / (1{,}000 \times W)$$

$$\text{Chlorophyll b} = [(22.90A645 - 4.68A663) \times V] / (1{,}000 \times W)$$

$$\text{Total chlorophyll (a+b)} = [(20.20A645 + 8.02A663) \times V] / (1{,}000 \times W)$$

เมื่อ V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายที่ใช้ในการสกัดคลอโรฟิลล์

W = น้ำหนักสดของพืชที่ใช้ในการสกัด

3.1.4.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง

(1) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter)

วิเคราะห์ด้วยวิธีของ Walkley and Black (1934) โดยโดยชั่งตัวอย่างดินบดละเอียดที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร 0.5 กรัม ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยา 1N Dichromate ($K_2Cr_2O_7$) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และเติม Sulfuric acid (H_2SO_4) เข้มข้น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้น้ำยากับดินเข้ากันประมาณ 1-2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมน้ำกลั่นลงไป 15 มิลลิลิตร และหยด Indicator 3 หยด ไตเตรท Soil suspension ด้วยน้ำยา 0.5 N Ferrous sulfate ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) จนกระทั่งถึงจุด End point คือจุดที่สีของ Suspension เริ่มเปลี่ยนจากสี

Ref. code: 25636209034518RVM

เขียวเป็นน้ำตาลปนแดง จดบันทึกปริมาณของน้ำยา Ferrous sulfate เพื่อนำมาคำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดิน ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\% \text{ organic carbon} = \frac{(\text{ml blank} - \text{ml sample}) \times \text{MFS} \times 0.003 \times 100 \times \text{CF}}{\text{W}}$$

$$\% \text{ organic matter} = \% \text{ organic carbon} \times 1.724$$

เมื่อ ml blank = จำนวนมิลลิลิตรของ Ferrous sulfate ที่ไตเตรทกับ blank
ml sample = จำนวนมิลลิลิตรของ Ferrous sulfate ที่ไตเตรทกับตัวอย่าง
MFS = ความเข้มข้นของ Ferrous sulfate
W = น้ำหนักของดิน (กรัม)
CF = ค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งเท่ากับ 100/77 หรือ 1.30

(2) ไนโตรเจนทั้งหมด (total N)

วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjedahl method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

การย่อย (digestion) ชั่งตัวอย่างพืชประมาณ 1 กรัม ใส่ Digest tube เติม Catalyst mixer (อัตราส่วน K_2SO_4:$CuSO_4$•$5H_2O$ เท่ากับ 9:1 ยี่ห้อ KJELBLET /COPPPER for protein analysis บริษัท OSKON CO., Ltd) 2 เม็ด จากนั้นเติม conc H_2SO_4 25 มิลลิลิตร และนำหลอดตัวอย่างที่ใส่สารแล้ว ตั้งบน Digester block โดยเริ่มที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการปรับอุณหภูมิให้เป็น 350 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้นานประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกว่าสารละลายจะใส หลังจากนั้น ตั้งหลอดตัวอย่างทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นลงไป 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเพื่อรอการกลั่นต่อไป

การกลั่น (distillation) นำหลอดตัวอย่างเข้าเครื่องกลั่นโดยให้ปลายด้านหนึ่งของ Condenser จุ่มใน 4% Boric acid (H_3BO_3) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่เติม Indicator 2 หยด จากนั้นเติม 40% Sodium hydroxide (NaOH) ลงในตัวอย่าง หลอดละประมาณ 20-40 มิลลิลิตร หรือจนกว่าสารละลายในหลอดตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม จากนั้นกลั่นจนได้ Ammonia (NH_3) ออกมาด้วยเครื่องกลั่นไนโตรเจน ใช้เวลาประมาณ 6 นาที

Ref. code: 25636209034518RVM

การไตเตรท (titration) นำตัวอย่างที่กลั่นได้มาไตเตรทกับ Standard 0.1 N Sulfuric acid และบันทึกปริมาณของ Standard 0.1 N Sulfuric acid (H_2SO_4) และนำไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนต่อไป

การคำนวณ (calculation) ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\% N = \frac{(ml\ H2SO4 - ml\ Blank) \times Y \times 0.014 \times 100}{W\ (g)}$$

เมื่อ Y คือ ค่า Normality ของ H_2SO_4 ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Normality = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม) ของ } Na_2CO_3 \times 1000}{\text{ปริมาตรของ } H_2SO_4 \times \text{สมมูลย์ของ } Na_2CO_3}$$

(3) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P)

วิเคราะห์ด้วยวิธี Vanadotemolybdate (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) โดยนำตัวอย่างแหนแดงแห้งที่บดและร่อนผ่านตะแกรง 0.2 มิลลิเมตร มา 1 กรัม ใส่ลงใน kjeldahl tube แล้วเติม digestion mixture 15 มิลลิลิตร (เตรียม blank ควบคู่ไปด้วย) จากนั้นนำ kjeldahl tube ใส่ลงใน block digestion (ภายใต้ fume hood) โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สังเกตสีของควันจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาล เพิ่มอุณหภูมิเป็น 220 องศาเซลเซียส เพื่อเร่งปฏิกิริยา ทำการย่อยต่ออีกประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อได้สารละลายใส วางทิ้งจนเย็นตัวลง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายในหลอดและน้ำกรองรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บ aliquot ที่ได้ใส่ในขวดพลาสติก

เตรียมสารละลายมาตรฐาน standard phosphate 5 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6 และ 8 ppm โดยเตรียมได้จากการปิเปต 50 ppm standard P ปริมาตร 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นเติมน้ำยา Barton ลงไปหลอดละ 5 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนไปถึงเหลืองเข้ม รอปริมาณ 30 นาที แล้ววัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 nm

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยดูดสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย (digestion) ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำยา Barton 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน และตั้ง

Ref. code: 25636209034518RVM

ทิ้งไว้ให้เกิดสีสมบูรณ์ซึ่งจะได้สารละลายสีเหลือง อย่างน้อย 30 นาที แล้ววัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 nm

การคำนวณ คำนวณปริมาณฟอฟอสรัสรวมในตัวอย่างปุ๋ยและพืชด้วยสมการ

$$\% P = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้และเทียบกับ standard curve (ppm)} \times 100 \times \text{d.f.} \times 100}{10^6 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

d.f. = dilution factor ซึ่งในการวิเคราะห์จะเติมสารละลายตัวอย่างที่ย่อยแล้ว 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเมื่อเติมสารต่างๆ เป็น 25 มิลลิลิตร ดังนั้น d.f. จึงเท่ากับ 25/5

(4) โพแทสเซียมทั้งหมด (total K)

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame photometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) เริ่มจากนำตัวอย่างแหนแดงแห้งที่บดและร่อนผ่านตะแกรง 0.2 มิลลิเมตร มา 1 กรัม ใส่ลงใน kjeldahl tube แล้วเติม digestion mixture 15 มิลลิลิตร (เตรียม blank ควบคู่ไปด้วย) จากนั้นนำ kjeldahl tube ใส่ลงใน block digestion (ภายใต้ fume hood) โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สังเกตสีของควันจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาล เพิ่มอุณหภูมิเป็น 220 องศาเซลเซียส เพื่อเร่งปฏิกิริยา ทำการย่อยต่ออีกประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อได้สารละลายใส วางทิ้งจนเย็นตัวลง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายในหลอดและน้ำกรองรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บ aliquot ที่ได้ใส่ในขวดพลาสติก

เตรียมสารละลายมาตรฐาน standard potassium 6 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm โดยเตรียมได้จากการปิเปต 100 ppm standard K ปริมาตร 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame photometer

นำสารละลายตัวอย่างมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Flame photometer ซึ่งหากค่าที่อ่านได้จากสารละลายตัวอย่างมีค่าเกิน standard ต้องเจือจางสารละลายตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น เป็น 1:10 หรือมากกว่านั้นตามความเหมาะสม

คำนวณปริมาณธาตุโพแทสเซียมในตัวอย่าง (หน่วยเป็น %) จากสมการ

$$\% K = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้และเทียบกับ standard curve (ppm)} \times 100 \times \text{d.f.} \times 100}{10^6 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

Ref. code: 25636209034518RVM

d.f. = dilution factor ควรจะเป็น 10/1 หรือ 20/1 หรือมากกว่า แต่ถ้าไม่ได้เจือจางสารละลายตัดค่า d.f. ออกไป

(5) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio)

คำนวณได้จากการหาอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุด้วยวิธี Walkley and Black (1934) และค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนรวมที่วิเคราะห์โดยวิธี Kjedahl method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

(6) ปริมาณโปรตีน คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดังสมการ

Protein (%) = % N x 6.25

3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS

3.2 ศึกษาอัตราการใช้มูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ (บ่อ) ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง ซึ่งจากการทดลองที่ 3.1 ทำให้ได้ชนิดของมูลสัตว์ได้แก่ มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสิ่งทดลองจึงประกอบด้วย

สิ่งทดลองที่ 1 ไม่ใส่มูลสุกร (Control)

สิ่งทดลองที่ 2 ใส่มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร

สิ่งทดลองที่ 3 ใส่มูลสุกรอัตรา 30.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร

สิ่งทดลองที่ 4 ใส่มูลสุกรอัตรา 40.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร

เพาะเลี้ยงแหนแดง และบันทึกผลการทดลอง รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 โดยใส่มูลสัตว์ในอัตราที่แตกต่างกันตามสิ่งทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.4

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 3.4 อัตราการใส่มูลสุกรในแต่ละสิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	อัตราการใส่ (กรัมต่อตารางเมตร)	ปริมาณมูลสัตว์ที่ใส่ (กรัมต่อบ่อ 0.30 ตารางเมตร)
สิ่งทดลองที่ 1 ไม่ใส่มูลสุกร (Control)	-	-
สิ่งทดลองที่ 2 ใส่มูลสุกร อัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร	3,855	1,156
สิ่งทดลองที่ 3 ใส่มูลสุกร อัตรา 30.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร	5,767	1,730
สิ่งทดลองที่ 4 ใส่มูลสุกร อัตรา 40.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร	7,679	2,304

3.3 ศึกษาความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ (บ่อ) ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 ไม่มีการพรางแสง (Control)

สิ่งทดลองที่ 2 พรางแสงด้วยตาข่ายกรองแสง 20 เปอร์เซ็นต์

สิ่งทดลองที่ 3 พรางแสงด้วยตาข่ายกรองแสง 40 เปอร์เซ็นต์

สิ่งทดลองที่ 4 พรางแสงด้วยตาข่ายกรองแสง 60 เปอร์เซ็นต์

คัดเลือกชนิดมูลสัตว์ที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 และอัตรามูลสัตว์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.2 ซึ่งได้แก่ มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร มาใช้ในการเพาะเลี้ยงแหนแดงภายใต้สภาพการพรางแสงที่แตกต่างกันตามสิ่งทดลอง บันทึกผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 แต่เพิ่มเติมการบันทึกผลเกี่ยวกับความเข้มแสงภายในวัสดุพรางแสงในแต่ละสิ่งทดลอง โดยบันทึกวันละครั้ง คือ 12.00 น.

Ref. code: 25636209034518RVM

3.4 ศึกษากระบวนการผลิตแหนแดงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อเป็นต้นแบบของการผลิตแหนแดงเพื่อใช้ในการเกษตร

3.4.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ (บ่อ) ประกอบด้วย 2 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 กรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ การใช้มูลโคอัตรา 1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยใช้มุ้งตาข่ายปิดปากบ่อเพื่อพรางแสงและป้องกันแมลง

สิ่งทดลองที่ 2 กรรมวิธีที่ได้จากการทดลองที่ 3.1-3.3 ได้แก่ การใช้มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร และพรางแสงด้วยตาข่ายกรองแสง 40 เปอร์เซ็นต์

3.4.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3.4.2.1 บ่อสำหรับเพาะเลี้ยงแหนแดง

ใช้วงบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ซึ่งทำให้มีพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางเมตร

3.4.2.2 ดินสำหรับการทดลอง

ใช้ดินจากบ่อเก็บน้ำบริเวณแปลงของเกษตรกร บ้านเลขที่ 48/2 หมู่ที่ 3 ตำบลหนองสามวัง อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี

3.4.2.3 มูลสัตว์สำหรับการทดลอง

มูลโคนมที่วางจำหน่ายทั่วไปตามร้านค้าทางการเกษตรสำหรับกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร และมูลสุกรแหล่งเดียวกับที่ใช้ในการทดลองสำหรับกรรมวิธีที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 3.1-3.3 ซึ่งได้มีการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักก่อนการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ธาตุอาหารในมูลสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง

ธาตุอาหาร	มูลโค	มูลสุกร
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)[1/]	2.42	0.18
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)[2/]	0.80	0.32
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)[3/]	1.98	0.72

[1/] ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method); [2/] ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Vanadomolybdate method); [3/] โพแทสเซียมทั้งหมด (Flame photometer)

Ref. code: 25636209034518RVM

3.4.3 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงแหนแดง

(1) เตรียมวงบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ซึ่งทำให้มีพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางเมตรจำนวน 6 บ่อ ล้างให้สะอาด

(2) ใส่ดินลงในบ่อสูงประมาณ 20 เซนติเมตร เติมน้ำเปล่าสูงจากผิวดิน 10 เซนติเมตร ใส่สิ่งทดลองที่เป็นแหล่งธาตุอาหารตามที่กำหนด หมักทิ้งไว้ 2 วัน เพื่อให้มูลสัตว์และดินตกตะกอน

(3) ใส่พันธุ์แหนแดงลงในบ่อในอัตรา 50 กรัมต่อบ่อ (อัตรา 100 กรัมต่อตารางเมตร)

(4) เติมน้ำให้ได้ระดับความลึกของผิวน้ำที่เท่ากับ 10 เซนติเมตร ทุกวันตลอดการทดลองเพื่อทดแทนการระเหย

(5) เก็บเกี่ยวแหนแดงเป็นจำนวน 3 รอบการเก็บเกี่ยว โดยเก็บเกี่ยวทุก 10 วัน (วันที่ 10, 20 และ 30)

3.4.4 การบันทึกผล บันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1

3.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทดสอบความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง โดยใช้สถิติ Independent-Samples T-test ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองที่บ้านเลขที่ 84/2 หมู่ที่ 3 ตำบลวังไก่เถื่อน อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท สำหรับการทดลองที่แปลงของเกษตรกร ทำการทดลองที่สวนปิ่นโตเกษตรอินทรีย์ เลขที่ 48/2 หมู่ที่ 3 ตำบลหนองสามวัง อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแหนแดง ณ ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

3.6 ระยะเวลาในการทดลอง

ทำการทดลองตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 รวมระยะเวลา 7 เดือน

Ref. code: 25636209034518RVM

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาชนิดของมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

4.1.1 สภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง

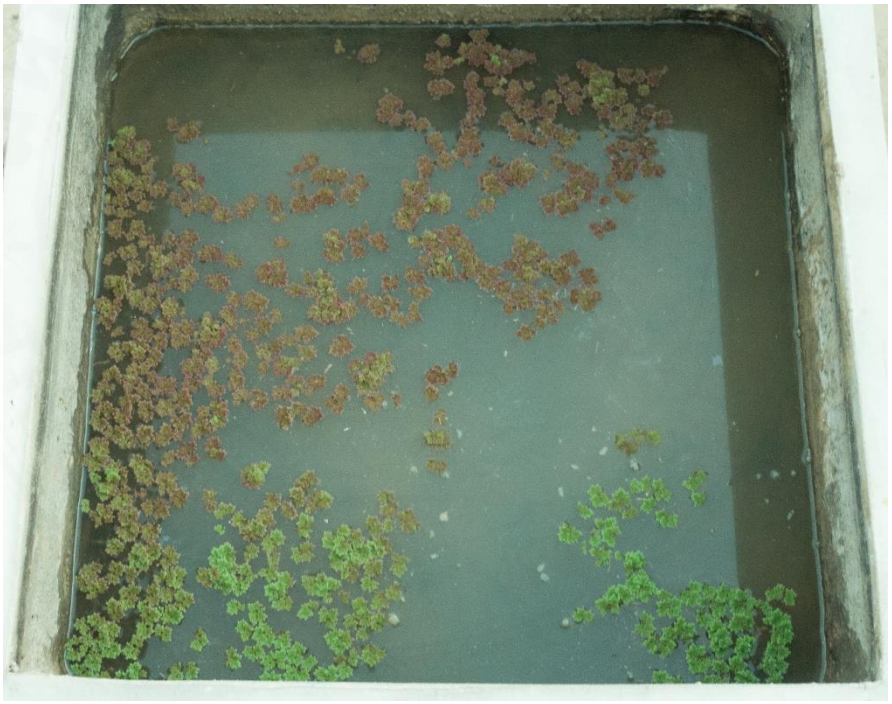
จากการบันทึกสภาพอากาศในบริเวณที่ทำการเพาะเลี้ยงแหนแดงตั้งแต่วันที่ 5 ธันวาคม 2563 ถึงวันที่ 4 มกราคม 2564 พบว่า อุณหภูมิในบริเวณที่เลี้ยงแหนแดงมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25.2-36.9 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 24.8-33.8 องศาเซลเซียส ซึ่งถือได้ว่าค่อนข้างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงที่อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมไม่ควรเกิน 35 องศาเซลเซียส (Tuan and Thuyet, 1979) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 38.3-61.6 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 7.13-7.57 ซึ่งถือได้ว่าค่อนข้างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงเนื่องจากมีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-7.5 (Carry and Weerts, 1992)

4.1.2 การเจริญเติบโต

จากผลการทดลองพบว่า การใส่มูลสัตว์ทุกชนิด ทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยทุกรอบการเก็บเกี่ยวสูงกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-0.13 ต่อวัน ในขณะที่การไม่ใส่มูลสัตว์ทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.09 ต่อวัน สอดคล้องกับระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า พบว่า การใส่มูลสัตว์ทุกชนิด ทำให้แหนแดงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เฉลี่ยที่ระยะเวลา 5.86-8.50 วัน ในขณะที่การไม่ใส่มูลสัตว์ทำให้แหนแดงต้องใช้ระยะเวลาในการเพิ่มปริมาณเป็น 2 เท่า ถึง 12.79 วัน (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างนานเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าที่พบว่า โดยปกติแหนแดงจะมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ประมาณ 3-6 วัน (กมลวรรณ และคณะ, 2554) อย่างไรก็ตาม พบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของแหนแดงในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงในการเก็บเกี่ยวรอบที่ 3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสที่อาจมีน้อยลงจนส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและสังเกตได้จากการที่แหนแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดง (ภาพที่ 4.1) โดยเฉพาะสิ่งทดลองที่ใส่มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์ และสิ่งทดลองที่ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในอัตรา 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พบว่า แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำที่สุดและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นานที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในอัตราน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ หรือการใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้หากสังเกตผลการทดลองในรอบการเกี่ยว

Ref. code: 25636209034518RVM

ครั้งที่ 3 พบว่า สิ่งทดลองที่ใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงที่สุด และมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า สั้นที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ใส่มูลสัตว์ในทุกอัตรา อีกทั้งจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของแหนแดง พบว่า มีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกสิ่งทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารในมูลโคและมูลสุกรที่นำมาใช้ในการทดลองที่พบว่า มูลโคมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่ามูลสุกร ทั้งนี้ El Katony et al. (1996) รายงานว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงและเป็นธาตุที่แหนแดงมักแสดงอาการขาด ในขณะที่ไนโตรเจนที่ถึงแม้ว่าจะเป็นธาตุอาหารหลักที่แหนแดงต้องการในปริมาณมากเช่นกัน แต่พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena* sp.) ที่อาศัยอยู่ในกาบใบของแหนแดงถือเป็นส่วนสำคัญที่สามารถช่วยในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศและเปลี่ยนเป็นรูปของไนโตรเจนที่แหนแดงนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Costa et al., 2009)



ภาพที่ 4.1 แหนแดงที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดงเนื่องจากขาดธาตุอาหาร

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.1 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (ต่อวัน)				ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (วัน)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม)	0.12 b[1/]	0.11 b	0.03 d	0.09 b	5.93 a	6.11 a	26.35 a	12.79 a
มูลโค 100%	0.15 a	0.14 ab	0.06 bc	0.11 a	4.70 b	5.14 bc	12.99 bc	7.61 b
มูลสุกร 100%	0.15 a	0.16 a	0.08 a	0.13 a	4.49 b	4.31 c	8.79 d	5.86 b
มูลโค:มูลสุกร 25:75 (% โดยน้ำหนัก)	0.14 a	0.14 ab	0.07 ab	0.12 a	4.96 b	5.10 bc	9.63 cd	6.56 b
มูลโค:มูลสุกร 50:50 (% โดยน้ำหนัก)	0.15 a	0.14 ab	0.07 abc	0.12 a	4.66 b	5.16 b	12.17 bcd	7.33 b
มูลโค:มูลสุกร 75:25 (% โดยน้ำหนัก)	0.14 a	0.14 a	0.05 cd	0.11 a	4.89 b	4.89 bc	15.73 b	8.50 b
F-test	*	*	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	9.30	9.68	19.75	9.58	7.82	8.43	14.68	18.91

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

Ref. code: 25636209034518RVM

4.1.3 ปริมาณผลผลิต

เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักสดของแหนแดงรวม 3 รอบการเก็บเกี่ยว (ระยะเวลา 1 เดือน) พบว่า การใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ คือ 360.16 กรัม (ตารางที่ 4.2) และมีค่าสูงกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์หรือการใส่มูลสัตว์ในสัดส่วนอื่นๆ ซึ่งแม้ว่ามูลโคจะมีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงกว่า แต่พบว่ามูลสุกรมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงกว่า ซึ่งจากการรายงานของ Sadeghi et al. (2013) พบว่า ธาตุฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO_4^{2-}) ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญเติบโตของแหนแดงเป็นอย่างมาก เนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อการเร่งการเจริญเติบโตของแหนแดง โดยหากมีปริมาณฟอสฟอรัสเพียงพอในน้ำที่ใช้เลี้ยงแหนแดง อาจไม่จำเป็นต้องให้ไนโตรเจนทั้งในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) หรือไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งยังคงทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตได้ดีอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณน้ำหนักแห้งสุทธิรวมของแหนแดงที่ให้ชนิดของปุ๋ยมูลสัตว์ที่แตกต่างกันในระยะเวลา 1 เดือน พบว่า การใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ และการใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในอัตรา 25:75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้น้ำหนักแห้งสุทธิรวมของแหนแดงมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 16.02-16.98 กรัม (ตารางที่ 4.2)

เมื่อพิจารณาที่ปริมาณน้ำในแหนแดง พบว่า การใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อสูงที่สุด คือ 95.11 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตราซึ่งทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อยู่ในช่วง 94.52-94.81 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่ใส่มูลสัตว์ทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อต่ำที่สุด คือ 93.87 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.2) สอดคล้องกับน้ำหนักแห้งสุทธิ ที่พบว่า สิ่งทดลองที่ไม่ใส่มูลสัตว์ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิสูงที่สุด คือ 6.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิเท่ากับ 5.62 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิต่ำที่สุด คือ 4.89 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.2)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในแหนแดง และน้ำหนักแห้งสุทธิของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ (%)
ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม)	229.83 d[1/]	13.56 c	93.87 c	6.13 a
มูลโค 100%	301.65 c	16.06 ab	94.38 bc	5.62 ab
มูลสุกร 100%	360.16 a	16.98 a	95.11 a	4.89 c
มูลโค:มูลสุกร 25:75 (% โดยน้ำหนัก)	305.09 bc	16.02 ab	94.63 ab	5.37 bc
มูลโค:มูลสุกร 50:50 (% โดยน้ำหนัก)	312.71 b	15.48 b	94.81 ab	5.19 bc
มูลโค:มูลสุกร 75:25 (% โดยน้ำหนัก)	297.25 c	15.29 b	94.52 ab	5.48 bc
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	1.58	3.97	0.34	5.88

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

4.1.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในทุกรอบการเก็บเกี่ยว พบว่า การไม่ใส่มูลสัตว์ หรือการใส่มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์ หรือใส่ร่วมกับมูลสุกรในอัตรา 50:50 และ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงกว่าการใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.20-0.22 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และแม้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์บีในแหนแดงที่ไม่ได้รับหรือได้รับมูลสัตว์ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด แต่สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม พบว่า การไม่ใส่มูลสัตว์ หรือใส่มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์ หรือใส่ร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตรา ทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์รมสูงกว่าการใส่มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วง 0.29-0.33 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้จากการรายงานของ Subudhi and Singh (1979) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเมื่อแหนแดงได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ที่พบว่า มูลสุกรมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่ามูลโค จึงอาจเหนี่ยวนำทำให้ในน้ำที่เลี้ยงแหนแดงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้สูงกว่าและอาจส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในแหนแดงที่เลี้ยงโดยใช้มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์มีค่าน้อยกว่าการใช้มูลสัตว์ในอัตราอื่นๆ หรือไม่ใส่มูลสัตว์

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)		
	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม
ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม)	0.20 abc[1/]	0.10	0.30 ab
มูลโค 100%	0.22 ab	0.11	0.33 a
มูลสุกร 100%	0.17 c	0.09	0.27 b
มูลโค:มูลสุกร 25:75 (% โดยน้ำหนัก)	0.19 bc	0.10	0.29 ab
มูลโค:มูลสุกร 50:50 (% โดยน้ำหนัก)	0.22 a	0.11	0.33 a
มูลโค:มูลสุกร 75:25 (% โดยน้ำหนัก)	0.21 ab	0.10	0.31 a
F-test	*	ns	*
C.V. (%)	7.35	8.67	7.37

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

4.1.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง

สำหรับการสะสมธาตุอาหารของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยมูลโคและมูลสุกรในอัตราที่ต่างกัน พบว่า การใส่หรือไม่ใส่มูลสัตว์ทุกชนิดทำให้แหนแดงมีการสะสมของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งมีการสะสมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.30-2.55 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.09-0.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการสะสมโพแทสเซียม พบว่า การไม่ใส่มูลสัตว์ทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุโพแทสเซียมสูงที่สุด คือ 1.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่มูลโค 100 เปอร์เซ็นต์ ที่มีการสะสมโพแทสเซียมเท่ากับ 1.02 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรอัตรา 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้แหนแดงมีการสะสมโพแทสเซียมต่ำที่สุด คือ 0.33 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.4) ส่วนปริมาณโปรตีน พบว่า ปริมาณโปรตีนที่สะสมในแหนแดงมีค่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละสิ่งทดลอง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 14.39-15.91 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุ ที่พบว่า การไม่ใส่มูลสัตว์และการใส่มูลสัตว์ในทุกสิ่งทดลองไม่ทำให้แหนแดงมีปริมาณอินทรียวัตถุที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 59.32-61.94 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ซึ่งเป็นการคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนและคาร์บอนที่ได้จากปริมาณอินทรียวัตถุ จึงพบว่า อัตราส่วนคาร์บอน

Ref. code: 25636209034518RVM

ต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของแหนแดงมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 13.86-15.10 (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม)	2.30	0.09	1.14 a[1/]
มูลโค 100%	2.55	0.10	1.02 a
มูลสุกร 100%	2.43	0.14	0.79 b
มูลโค:มูลสุกร 25:75 (% โดยน้ำหนัก)	2.38	0.10	0.54 c
มูลโค:มูลสุกร 50:50 (% โดยน้ำหนัก)	2.52	0.12	0.50 c
มูลโค:มูลสุกร 75:25 (% โดยน้ำหนัก)	2.49	0.10	0.33 d
F-test	ns	ns	**
C.V. (%)	7.51	15.07	9.58

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง จึงทำการเลือกใช้มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบอัตราการใช้ที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป เนื่องจากการใช้มูลสุกร 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด มีระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่าที่สั้นที่สุด อีกทั้งยังทำให้แหนแดงมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่สูงที่สุด

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยชนิดของมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	โปรตีน (%)	อินทรียวัตถุ (%)	C/N ratio
ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม)	14.39	59.32	14.95
มูลโค 100%	15.91	60.37	13.86
มูลสุกร 100%	15.21	60.12	14.38
มูลโค:มูลสุกร 25:75 (% โดยน้ำหนัก)	14.85	61.94	15.10
มูลโค:มูลสุกร 50:50 (% โดยน้ำหนัก)	15.76	61.72	14.36
มูลโค:มูลสุกร 75:25 (% โดยน้ำหนัก)	15.54	61.71	14.55
F-test	ns	ns	ns
C.V. (%)	7.44	3.24	13.86

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.2 ผลการศึกษาอัตราการใช้มูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

4.2.1 สภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง

สำหรับสภาพแวดล้อมในระหว่างการเพาะเลี้ยงแหนแดงตั้งแต่วันที่ 10 มกราคม ถึงวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2564 พบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 22.5-36.2 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 46.6-56.4 เปอร์เซ็นต์ และมีอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 21.6-34.1 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตลอดการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 7.10-7.85 ซึ่งค่อนข้างมีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงแหนแดงเช่นเดียวกับการทดลองแรก

4.2.2 การเจริญเติบโต

จากผลการทดลองพบว่า การใส่มูลสุกรทุกอัตราทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยทุกรอบการเก็บเกี่ยวมากกว่าการไม่ใส่มูลสุกรอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 ต่อวัน ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.14 ต่อวัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใส่มูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ที่พบว่า การใส่มูลสุกรทุกอัตราทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า สั้นกว่าการไม่ใส่มูลสุกรอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3.10-3.22 วัน ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เฉลี่ย 5.06 วัน ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อใส่มูลสุกรในอัตรา

Ref. code: 25636209034518RVM

ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม อัตราการเจริญเติบสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และลดลงในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 ในทุกสิ่งทดลอง ทั้งนี้ในช่วง 10 วันแรกของการเก็บเกี่ยว อาจยังมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาไม่เต็มที่ ในขณะที่การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 ธาตุอาหารเริ่มลดลงทำให้การเจริญเติบโตลดลง เช่นเดียวกับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งพบว่า ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 การใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า อยู่ในช่วง 2.84-2.95 วัน ซึ่งมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า สั้นกว่าในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 ที่มีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า มีค่าอยู่ในช่วง 3.26-3.38 วัน (ตารางที่ 4.6)

4.2.3 ปริมาณผลผลิต

เมื่อพิจารณาน้ำหนักสดสำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดงเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่า การใส่มูลสุกรทุกอัตราทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักสดมากกว่าการไม่ใส่มูลสุกรอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 792.06-865.32 กรัม ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักสดเท่ากับ 375.73 กรัม ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับปริมาณน้ำหนักสดเมื่อใส่มูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับน้ำหนักแห้งที่ยังคงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใส่มูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 32.49-35.07 กรัม ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด คือ 20.67 กรัม (ตารางที่ 4.7)

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อของแหนแดง พบว่า การใส่มูลสุกรในทุกอัตราทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อมากกว่าการไม่ใส่มูลสุกรอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำในแหนแดงเมื่อได้รับมูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 95.82-95.95 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อน้อยที่สุด คือ 94.54 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.7) สอดคล้องกับน้ำหนักแห้งสุทธิ ที่พบว่า สิ่งทดลองที่ไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิสูงที่สุด คือ 5.46 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใส่มูลสุกรทุกอัตราทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างทางสถิติ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.05-4.18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.7)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (ต่อวัน)				ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (วัน)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ไม่ใส่มูลสุกร (ควบคุม)	0.15 b[1/]	0.16 b	0.12 b	0.14 b	4.84 a	4.44 a	5.91 a	5.06 a
มูลสุกร 20.16 g N	0.20 a	0.24 a	0.21 a	0.22 a	3.45 b	2.95 b	3.26 b	3.22 b
มูลสุกร 30.16 g N	0.22 a	0.24 a	0.21 a	0.22 a	3.16 b	2.90 b	3.38 b	3.15 b
มูลสุกร 40.16 g N	0.22 a	0.24 a	0.21 a	0.22 a	3.12 b	2.84 b	3.35 b	3.10 b
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	7.45	4.75	7.61	3.33	11.56	4.13	13.51	5.42

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.7 ผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในแหนแดง และน้ำหนักแห้งสุทธิของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ (%)
ไม่ใส่มูลสุกร (ควบคุม)	375.73 b[1/]	20.67 b	94.54 b	5.46 a
มูลสุกร 20.16 g N	792.06 a	32.49 a	95.82 a	4.18 b
มูลสุกร 30.16 g N	834.08 a	33.60 a	95.95 a	4.05 b
มูลสุกร 40.16 g N	865.32 a	35.07 a	95.93 a	4.07 b
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	6.69	7.61	0.15	3.33

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

4.2.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

จากผลการทดลอง ไม่พบความแตกต่างระหว่างการใส่มูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกันต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในแหนแดง ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.18-0.21 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์บี พบว่า การใส่มูลสุกรอัตรา 30.16 และ 40.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.07 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และพบว่ามีค่ามากกว่าการไม่ใส่มูลสุกรและการใส่มูลสุกรในอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีอยู่ในช่วง 0.05-0.06 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์รวม พบว่า สอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ยังคงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสิ่งทดลอง ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วง 0.24-0.28 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.8)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)		
	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม
ไม่ใส่มูลสุกร (ควบคุม)	0.18	0.06 bc[1/]	0.24
มูลสุกร 20.16 g N	0.19	0.05 c	0.24
มูลสุกร 30.16 g N	0.21	0.07 a	0.28
มูลสุกร 40.16 g N	0.20	0.06 ab	0.26
F-test	ns	**	ns
C.V. (%)	6.31	6.53	5.61

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

4.2.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง

สำหรับการสะสมธาตุอาหารของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการใส่มูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกัน พบว่า การใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุอาหารมากกว่าการไม่ใส่มูลสุกรอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีการสะสมธาตุไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.32-3.90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุไนโตรเจนอยู่ที่ 2.67 เปอร์เซ็นต์ และแม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างการใส่มูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกันต่อปริมารไนโตรเจนในแหนแดง แต่พบว่าการใส่มูลสุกรอัตรา 40.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร มีแนวโน้มทำให้แหนแดงมีการสะสมไนโตรเจนต่ำที่สุด ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่า การใส่มูลสัตว์ในอัตราที่มากเกินไป นอกจากจะส่งผลต่อสภาพความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงแหนแดงแล้ว อาจส่งผลต่อการตรึงไนโตรเจนของแหนแดง ซึ่งประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนในสภาพแวดล้อมมีปริมาณน้อย (Handajani, 2011) เช่นเดียวกับธาตุฟอสฟอรัสที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างการใส่มูลสุกรในอัตราที่แตกต่างกันต่อการสะสมฟอสฟอรัสในแหนแดง กล่าวคือ การใส่มูลสุกรในทุกอัตราทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.84-1.01 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้การสะสมฟอสฟอรัสในแหนแดงมีค่าน้อยที่สุด คือ 0.09 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในแหนแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่มูลสุกรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของศิราภรณ์ และฐปน (2561) ที่พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในแหนแดงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของระดับ

Ref. code: 25636209034518RVM

น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ใช้เลี้ยงแหนแดง ส่วนการสะสมธาตุโพแทสเซียมพบว่า การใส่มูลสุกรอัตรา 30.16 และ 40.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุโพแทสเซียมสูงที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.33-4.34 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือการใส่มูลสุกรในอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ที่ทำให้แหนแดงมีการสะสมโพแทสเซียมเท่ากับ 3.88 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุโพแทสเซียมต่ำที่สุดคือ 2.11 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.9)

สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่า แหนแดงมีปริมาณโปรตีนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใส่และไม่ใส่มูลสุกร โดยการใส่มูลสุกรทุกอัตรามีปริมาณโปรตีนสะสมอยู่ในช่วง 20.76-24.39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด คือ 16.69 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในแหนแดง พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทุกสิ่งทดลอง ซึ่งทำให้แหนแดงมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 55.05-57.85 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าแตกต่างกันระหว่างอัตราการใส่มูลสุกร ตามปริมาณการสะสมไนโตรเจนในแหนแดง ที่พบว่า การใส่มูลสุกรอัตรา 20.16 และ 30.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ทำให้แหนแดงมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) น้อยที่สุด คือ 8.75 และ 8.36 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใส่มูลสุกรอัตรา 40.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร แต่พบว่า การไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มากที่สุด คือ 12.60 ทั้งนี้เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่า การปลดปล่อยธาตุอาหารของเศษวัสดุหรือพืชปุ๋ยสดจะเกิดขึ้นได้ดีหากมีอัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำๆ โดยเฉพาะควรต่ำกว่า 20:1 ซึ่งจะทำให้อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร (mineralization) มากกว่าการตรึงธาตุอาหาร (immobilization) (ยงยุทธ และคณะ, 2554) ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใส่และไม่ใส่มูลสุกรทำให้แหนแดงมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำและพร้อมปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชเมื่อเกิดการย่อยสลาย แต่พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลสุกรในทุกอัตราทำให้อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่าการไม่ใส่มูลสุกร จึงมีความเป็นไปได้ว่า การปลดปล่อยธาตุอาหารในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงโดยใส่มูลสุกรทุกอัตราน่าจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์ (ตารางที่ 4.10)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง การใช้มูลสุกรในอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ถือเป็นอัตราการใช้ที่น้อยที่สุดที่ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตสูง ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่าน้อย และมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง รวมไปถึงการสะสมธาตุอาหารไม่แตกต่างทางสถิติ กับอัตราการใส่มูลสุกรที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกการใส่มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร เพื่อไปทดสอบในการทดลองต่อไป

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ไม่ใส่มูลสุกร (ควบคุม)	2.67 b[1/]	0.09 b	2.11 c
มูลสุกร 20.16 g N	3.69 a	0.84 a	3.88 b
มูลสุกร 30.16 g N	3.90 a	0.96 a	4.34 a
มูลสุกร 40.16 g N	3.32 ab	1.01 a	4.33 a
F-test	*	**	**
C.V. (%)	11.26	19.74	5.72

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยอัตราของมูลสุกรที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	โปรตีน (%)	อินทรียวัตถุ (%)	C/N ratio
ไม่ใส่มูลสุกร (ควบคุม)	16.69 b[1/]	57.75	12.60 a
มูลสุกร 20.16 g N	23.06 a	55.05	8.75 b
มูลสุกร 30.16 g N	24.39 a	55.94	8.36 b
มูลสุกร 40.16 g N	20.76 a	57.85	10.31 ab
F-test	**	ns	*
C.V. (%)	8.99	17.20	13.07

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

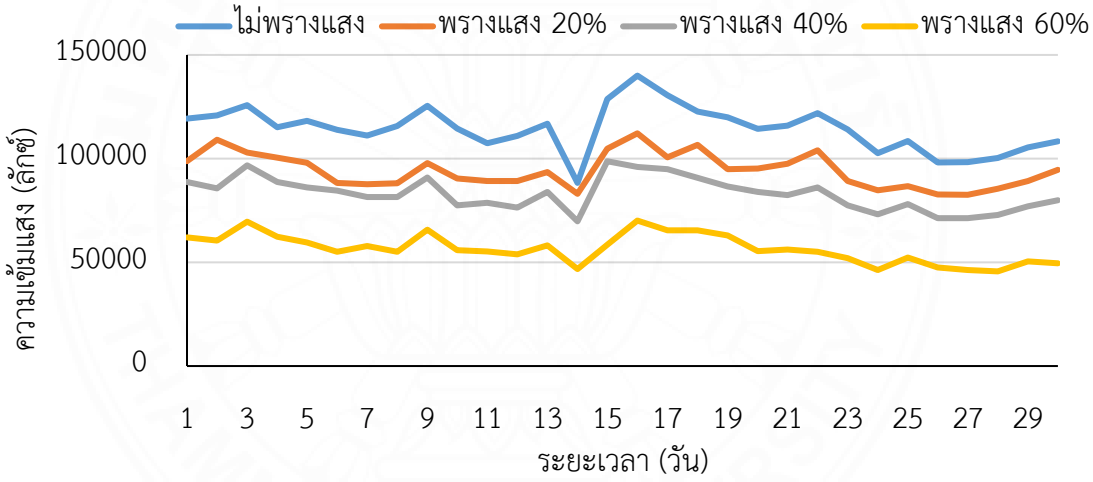
[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

Ref. code: 25636209034518RVM

4.3 ผลการศึกษาความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของแหนแดง

4.3.1 สภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง

สภาพอากาศสำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดง ตั้งแต่วันที่ 18 กุมภาพันธ์ ถึงวันที่ 20 มีนาคม 2564 พบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30.2-38.3 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 38.9-62.2 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 7.03-7.54 ช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีแสงค่อนข้างสว่างเต็มที่ โดยค่าความเข้มแสงก่อนการพรางแสงที่วัดได้เวลา 12.00 น.ต่ำที่สุดที่ 88,300 ลักซ์ และสูงที่สุดที่ 143,200 ลักซ์ (ภาพที่ 4.2) และมีอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 32.77-33.95 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิของน้ำมีแนวโน้มลดลงตามการพรางแสงที่มากขึ้น เช่นเดียวกับความเข้มแสงที่มีค่าลดลงตามการพรางแสง (ตารางที่ 4.11)



ภาพที่ 4.2 ค่าความเข้มแสงระหว่างการทดลอง

ตารางที่ 4.11 ความเข้มแสงและอุณหภูมิน้ำของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความเข้มแสง (ลักซ์)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)
ไม่พรางแสง (ควบคุม)	88,300-140,033	33.95
พรางแสง 20 เปอร์เซ็นต์	82,567-112,200	33.70
พรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์	69,767-98,733	33.59
พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์	45,633-70,133	32.77

Ref. code: 25636209034518RVM

4.3.2 การเจริญเติบโต

จากผลการทดลอง พบว่า ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 สิ่งทดลองที่มีการพรางแสงในทุกระดับมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.20-0.21 ต่อวัน ซึ่งสูงกว่าสิ่งทดลองที่ไม่มีการพรางแสงอย่างมีนัยสำคัญที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์อยู่ที่ 0.19 ต่อวัน (ตารางที่ 4.12) ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างการพรางแสงที่แตกต่างกันต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.23-0.25 ต่อวัน สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 พบว่า การไม่พรางแสงและการพรางแสงที่ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่สูงที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.23-0.25 ต่อวัน ในขณะที่การพรางแสงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำที่สุด คือ 0.22 ต่อวัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ย 3 รอบการเก็บเกี่ยว พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการพรางแสงและไม่พรางแสงต่ออัตราเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 0.22-0.23 ต่อวัน (ตารางที่ 4.12)

สำหรับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า พบว่า ระดับของการพรางแสงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ของแหนแดงอย่างมีนัยสำคัญ โดยในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า สิ่งทดลองที่มีการพรางแสงที่ 40 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าที่สั้นที่สุด คือ 3.21 วัน รองลงมาได้แก่ สิ่งทดลองที่พรางแสงที่ 20-60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า อยู่ในช่วง 3.38-3.42 วัน และพบว่าการไม่พรางแสง ทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นานที่สุด คือ 3.74 วัน สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า การพรางแสงที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า โดยทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า มีค่าอยู่ระหว่าง 2.80-2.97 วัน และในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 พบว่า การไม่พรางแสงและการพรางแสงที่ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า สั้นที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วง 2.81-2.99 วัน ในขณะที่การพรางแสงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นานที่สุด คือ 3.18 วัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยจาก 3 รอบการเก็บเกี่ยว พบว่า การพรางแสงและไม่พรางแสงทำให้แหนมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.23 ต่อวัน ในขณะที่สำหรับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า พบว่า การพรางแสงที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า สั้นที่สุด คือ 3.00 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการพรางแสงที่ระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นานที่สุด คือ 3.18 วัน (ตารางที่ 4.12)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.12 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (ต่อวัน)				ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (วัน)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ไม่พรางแสง (ควบคุม)	0.19 b[1/]	0.25	0.25 a	0.23	3.74 a	2.81	2.80 b	3.12 ab
พรางแสง 20 เปอร์เซ็นต์	0.20 a	0.24	0.24 a	0.22	3.42 b	2.89	2.89 b	3.07 ab
พรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์	0.21 a	0.25	0.23 ab	0.23	3.21 c	2.80	2.99 b	3.00 b
พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์	0.21 a	0.23	0.22 b	0.22	3.38 bc	2.97	3.20 a	3.18 a
F-test	*	ns	*	ns	**	ns	**	*
C.V. (%)	4.53	2.92	4.27	2.86	3.11	2.97	3.15	1.98

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

Ref. code: 25636209034518RVM

4.3.3 ปริมาณผลผลิต

ปริมาณผลผลิตของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่ต่างกันมีค่าแตกต่าง เมื่อพิจารณาน้ำหนักสดสำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดงเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่า การพรางแสงมีผลต่อปริมาณน้ำหนักสดอย่างมีนัยสำคัญ โดยการพรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 922.13 กรัม ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับการไม่พรางแสงที่ทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักสดเท่ากับ 903.80 กรัม รองลงมาได้แก่ การพรางแสงที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักสดเท่ากับ 890.47 กรัม ในขณะที่สิ่งทดลองที่มีการพรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักสดที่น้อยที่สุดคือ 806.68 กรัม สำหรับน้ำหนักแห้ง พบว่า การไม่พรางแสงทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 39.15 กรัม ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับแหนแดงที่ได้รับการพรางแสงที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งรวม 37.51 กรัม รองลงมาได้แก่ การพรางแสงที่ 20 เปอร์เซ็นต์ (36.63 กรัม) ในขณะที่การพรางแสงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักแห้งที่น้อยที่สุดคือ 32.91 กรัม (ตารางที่ 4.13) สำหรับปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อของแหนแดง พบว่า การพรางแสงหรือไม่พรางแสงทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 95.56-95.90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลของน้ำหนักแห้งสุทธิ พบว่า การพรางแสงทุกระดับทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิน้อยกว่าการไม่พรางแสงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการไม่พรางแสงทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิ 4.44 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การพรางแสงในทุกระดับทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งน้อยกว่า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.10-4.14 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาที่ผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า การไม่พรางแสงให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากทางสถิติกับการพรางแสงที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความเป็นได้ว่า แหนแดงสามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้จะได้รับแสงโดยตรง ซึ่งแม้จะมีรายงานว่า การพรางแสงทำให้แหนแดงเจริญเติบโตได้ดีกว่าการไม่พรางแสง เช่นการวิจัยของ Pabby et al. (2003) ที่รายงานว่า การเจริญเติบโตและการตรึงไนโตรเจนของแหนแดงจะลดลงเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น และจากคำแนะนำในการเลี้ยงแหนแดงของกรมวิชาการเกษตรที่แนะนำให้พรางแสงประมาณ 25-50 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม จากรายงานของ Pouil et al. (2020) พบว่า ระดับของการพรางแสงขึ้นอยู่กับระดับของการใส่ปุ๋ยด้วย โดยเมื่อการให้ปุ๋ยในปริมาณความเข้มข้นที่สูง แหนแดงจะเจริญเติบโตที่ได้ดีแม้อยู่ในสภาวะที่ไม่พรางแสงก็ตาม จึงมีความเป็นไปได้ว่า เมื่อใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากพอ อาจไม่จำเป็นต้องมีการพรางแสง นอกจากนี้การพรางแสงที่มากเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ทำให้ผลผลิตของแหนแดงลดลง เห็นได้จากสิ่งทดลองที่มีการพรางแสงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abduh et al. (2017) ที่พบว่า แหนแดงจะมีผลผลิตลดลงเมื่อมีการพรางแสงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.13 ผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในแหนแดง และน้ำหนักแห้งสุทธิของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ (%)
ไม่พรางแสง (ควบคุม)	903.80 ab[1/]	39.15 a	95.56	4.44 a
พรางแสง 20 เปอร์เซ็นต์	890.47 b	36.63 b	95.86	4.14 b
พรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์	922.13 a	37.51 ab	95.90	4.10 b
พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์	806.68 c	32.91 c	95.90	4.10 b
F-test	**	**	ns	**
C.V. (%)	1.58	2.66	0.17	2.10

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

4.3.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่ต่างกัน พบว่า การพรางแสงหรือไม่พรางแสงทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ในทุกระดับการพรางแสงและไม่พรางแสง ทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เออยู่ในช่วง 0.19-0.20 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ปริมาณคลอโรฟิลล์บีมีค่าเท่ากับ 0.07 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.26-0.28 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.14)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.14 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)		
	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม
ไม่พรางแสง (ควบคุม)	0.20	0.07	0.28
พรางแสง 20 เปอร์เซ็นต์	0.19	0.07	0.26
พรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์	0.20	0.07	0.27
พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์	0.19	0.07	0.26
F-test	ns	ns	ns
C.V. (%)	9.8	11.39	9.95

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.3.5 สมบัติทางเคมีของแหนแดง

สำหรับการสะสมธาตุอาหารของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่ต่างกัน พบว่า การพรางแสงหรือไม่พรางแสงไม่มีผลต่อการสะสมไนโตรเจนในแหนแดง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3.27-3.81 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การพรางแสงมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อการสะสมธาตุฟอสฟอรัสในแหนแดง โดยพบว่า การพรางแสงที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุฟอสฟอรัสสูงที่สุด คือ 0.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับการพรางแสงที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีการสะสมฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การพรางแสงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำให้แหนแดงมีการสะสมฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการไม่พรางแสงทำให้แหนแดงมีการสะสมฟอสฟอรัสน้อยที่สุด คือ 0.30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการสะสมโพแทสเซียม พบว่า การพรางแสงทุกระดับทำให้แหนแดงมีการสะสมโพแทสเซียมสูงกว่าการไม่พรางแสงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของการสะสมโพแทสเซียมของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงในระดับที่ต่างกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.88-2.11 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่พรางแสงทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุโพแทสเซียมน้อยที่สุด คือ 1.56 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.15) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าไม่พบความแตกต่างทางสถิติสำหรับการสะสมไนโตรเจนในทุกสิ่งทดลอง แต่พบว่า การไม่พรางแสงมีแนวโน้มทำให้แหนแดงมีการสะสมไนโตรเจนต่ำที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากความเข้มแสงที่มากเกินไปดังรายงานของ Tuan and Thuyet (1979) ที่พบว่า เมื่อความเข้มแสงมากกว่า 90,000 ลักซ์ จะส่งผลทำให้แหนแดงมีการตรึงไนโตรเจนลดลง

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.15 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ไม่พรางแสง (ควบคุม)	3.27	0.30 c[1/]	1.56 b
พรางแสง 20 เปอร์เซ็นต์	3.40	0.75 a	2.11 a
พรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์	3.81	0.67 a	1.88 a
พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์	3.80	0.44 b	2.06 a
F-test	ns	**	**
C.V. (%)	8.43	11.68	7.07

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่า การพรางแสงและไม่พรางแสงไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในแหนแดง โดยพบว่า ทำให้แหนแดงมีมีปริมาณโปรตีนสะสมอยู่ในช่วง 20.41-23.79 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุในแหนแดง ที่พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในแหนแดงที่ไม่พรางแสงและพรางแสงที่ระดับต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างอย่าง และมีค่าอยู่ในช่วง 59.92-63.66 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) พบว่า การพรางแสงทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ต่ำที่สุด ได้แก่ สิ่งทดลองที่มีการพรางแสงที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) อยู่ที่ 9.20 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการพรางแสงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ทำให้แหนแดงมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) อยู่ที่ 9.29 ในขณะที่การไม่พรางแสง และการพรางแสงที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) น้อยที่สุด คือเท่ากับ 10.92 และ 11.09 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.16 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	โปรตีน (%)	อินทรียวัตถุ (%)	C/N ratio
ไม่พรางแสง (ควบคุม)	20.41	62.29	11.09 a
พรางแสง 20 เปอร์เซ็นต์	21.24	63.66	10.92 a
พรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์	23.79	59.92	9.20 b
พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์	23.77	60.81	9.29 b
F-test	ns	ns	*
C.V. (%)	8.45	3.01	8.41

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง

จากผลการทดลอง แม้ว่าการพรางหรือไม่พรางแสงทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง พบว่า การพรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มทำให้แหนแดงมีการสะสมปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด คือเท่ากับ 35.22 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.17) นอกจากนี้ จากการสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงแหนแดงในฤดูฝน ที่พบว่า หากไม่พรางแสงหรือไม่มีอุปกรณ์คลุมบ่อเลี้ยงไว้ อาจพบปัญหาของการที่น้ำฝนตกมากระทบแหนแดงโดยตรง ทำให้แหนแดงช้ำและกระจายออกจากกัน ดังนั้นในการเลี้ยงแหนแดงจึงควรมีการพรางแสง โดยเฉพาะจากการทดลองนี้พบว่า การพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนอกจากจะช่วยให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตที่ดีและได้ปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดแล้ว ยังเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝนได้อีกทางหนึ่ง และทำให้สามารถเพาะเลี้ยงแหนแดงภายใต้สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติในทุกฤดูกาลได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้ง 3 การทดลอง พบว่า รูปแบบการจัดการที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดงในงานวิจัยนี้คือ การเลือกการใช้มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร โดยมีการพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า น้อยที่สุด อีกทั้งยังทำให้แหนแดงมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรวมไปถึงการสะสมธาตุไนโตรเจนที่สูงที่สุด ซึ่งถือเป็นวิธีการคัดเลือกที่สามารถนำไปทดสอบ

Ref. code: 25636209034518RVM

เปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดการเพาะเลี้ยงแหนแดงของกรมวิชาการเกษตรเพื่อทดสอบเปรียบเทียบต่อไป

ตารางที่ 4.17 ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยการพรางแสงที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนต่อน้ำหนักสด (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)	ปริมาณไนโตรเจนต่อน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)
ไม่พรางแสง (ควบคุม)	29.50	1.28
พรางแสง 20 เปอร์เซ็นต์	30.23	1.24
พรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์	35.22	1.44
พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์	30.68	1.25
F-test	ns	ns
C.V. (%)	10.17	12.1

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.4 ผลการศึกษากระบวนการผลิตแหนแดงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อเป็นต้นแบบของการผลิตแหนแดงเพื่อใช้ในการเกษตร

4.4.1 การเจริญเติบโต

จากการทดสอบกรรมวิธีการเพาะเลี้ยงแหนแดงในการทดลองที่ 3.1-3.3 พบว่า กรรมวิธีที่ดีที่สุดคือ การใช้มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ร่วมกับการพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ที่แนะนำให้ใช้ปุ๋ยมูลโคอัตรา 1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับการใช้มุ้งตาข่ายปิดปากบ่อเพื่อพรางแสงและป้องกันแมลง และทำการเพาะเลี้ยงแหนแดง ณ สวนปิ่นโตเกษตรอินทรีย์ เลขที่ 48/2 หมู่ที่ 3 ตำบลหนองสามวัง อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี และบันทึกการเจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งจากผลการทดสอบ ที่แม้ว่า กรรมวิธีทดสอบและกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.24-0.25 ต่อวัน และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า มีค่าอยู่ในช่วง 2.66-3.14 อย่างไรก็ตามพบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่มากกว่าและมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า สั้นกว่าแหนแดงที่เพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 4.18-4.19)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.18 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน

	ข้อมูล	กรรมวิธี	N	$\bar{X}$	S.D.	t	Sig.
อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (ต่อวัน)	การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (1-10 วัน)	กรมวิชาการเกษตร	3	0.25	0.01	-1.512	0.609
		ทดสอบ	3	0.26	0.01		
	การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (11-20 วัน)	กรมวิชาการเกษตร	3	0.24	0.00	-2.828	1.000
		ทดสอบ	3	0.25	0.00		
	การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 (21-30 วัน)	กรมวิชาการเกษตร	3	0.22	0.00	-6.185	0.166
		ทดสอบ	3	0.24	0.00		
	เฉลี่ยต่อ 1 เดือน	กรมวิชาการเกษตร	3	0.24	0.00	-3.308	0.411
		ทดสอบ	3	0.25	0.01		

ตารางที่ 4.19 ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่าของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน

	ข้อมูล	กรรมวิธี	N	$\bar{X}$	S.D.	t	Sig.
ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (วัน)	การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (1-10 วัน)	กรมวิชาการเกษตร	3	2.78	0.09	2.184	0.345
		ทดสอบ	3	2.66	0.04		
	การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (11-20 วัน)	กรมวิชาการเกษตร	3	2.95	0.05	3.681	0.805
		ทดสอบ	3	2.79	0.06		
	การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 (21-30 วัน)	กรมวิชาการเกษตร	3	3.14	0.02	7.242	0.189
		ทดสอบ	3	2.88	0.06		
	เฉลี่ยต่อ 1 เดือน	กรมวิชาการเกษตร	3	2.95	0.05	3.429	0.356
		ทดสอบ	3	2.77	0.08		

4.4.2 ปริมาณผลผลิต

จากผลการทดลอง ที่แม้ว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อ และน้ำหนักแห้งสุทธิ ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีการเพาะเลี้ยงแหนแดงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร แต่พบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำหนักสดทั้งการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1-3 และน้ำหนักสดต่อเดือน สูงกว่ากรรมวิธีเพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของ

Ref. code: 25636209034518RVM

กรมวิชาการเกษตรประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 1,842.60 กรัมต่อ 0.5 ตารางเมตร ในขณะที่แหนแดงที่เพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 1,589.94 กรัมต่อ 0.5 ตารางเมตร แต่สำหรับน้ำหนักแห้ง กลับพบว่า กรรมวิธีเพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิ 4.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีทดสอบซึ่งทำให้แหนแดงมีน้ำหนักแห้งสุทธิเท่ากับ 3.87 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่ 4.20 ปริมาณผลผลิตของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน

ข้อมูล	กรรมวิธี	N	$\overline{X}$	S.D.	t	Sig.
น้ำหนักสด (กรัม)	กรมวิชาการเกษตร	3	1,589.94	27.02	-8.170	0.456
	ทดสอบ	3	1,842.60	46.23		
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	กรมวิชาการเกษตร	3	74.64	7.66	0.587	0.620
	ทดสอบ	3	71.27	6.35		
ปริมาณน้ำ (%)	กรมวิชาการเกษตร	3	95.35	0.29	-4.575	0.087
	ทดสอบ	3	96.13	0.07		
น้ำหนักแห้งสุทธิ (%)	กรมวิชาการเกษตร	3	4.65	0.29	4.575	0.087
	ทดสอบ	3	3.87	0.07		

4.4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์

การเพาะเลี้ยงแหนแดงด้วยกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่ากรรมวิธีทดสอบ แต่พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ การเพาะเลี้ยงแหนแดงด้วยกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมอยู่ที่ 0.66, 0.13 และ 0.46 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่แหนแดงที่เลี้ยงด้วยกรรมวิธีทดสอบมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมีค่าเท่ากับ 0.26, 0.12 และ 0.38 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.21)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน

ข้อมูล		กรรมวิธี	N	$\bar{X}$	S.D.	t	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์เอ	กรมวิชาการเกษตร	3	0.33	0.00	6.147	0.089
		ทดสอบ	3	0.26	0.02		
	คลอโรฟิลล์บี	กรมวิชาการเกษตร	3	0.13	0.00	0.372	0.745
		ทดสอบ	3	0.12	0.04		
	คลอโรฟิลล์รวม	กรมวิชาการเกษตร	3	0.46	0.01	2.229	0.150
		ทดสอบ	3	0.38	0.06		

4.4.4 สมบัติทางเคมีของแหนแดง

แม้ว่ากรรมวิธีทดสอบ ทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุอาหารไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีการเพาะเลี้ยงแหนแดงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร แต่พบว่า กรรมวิธีทดสอบมีแนวโน้มทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุไนโตรเจนสูงกว่ากรรมวิธีเพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร กล่าวคือ กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีการสะสมไนโตรเจนอยู่ที่ 4.92 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แหนแดงที่เพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรมีการสะสมไนโตรเจนอยู่ที่ 4.89 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการสะสมฟอสฟอรัส พบว่า กรรมวิธีที่เพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุฟอสฟอรัส (1.05 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่ากรรมวิธีทดสอบ (0.75 เปอร์เซ็นต์) ส่วนการสะสมโพแทสเซียม พบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุโพแทสเซียม เท่ากับ 4.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีเพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรที่ทำให้แหนแดงมีการสะสมโพแทสเซียมอยู่ที่ 3.18 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหากพิจารณาที่ปริมาณธาตุอาหารหลักรวม (N+P+K) พบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีการสะสมของปริมาณธาตุอาหารหลักรวมเท่ากับ 9.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรที่ทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลักรวม 9.12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.22)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.22 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน

ข้อมูล		กรรมวิธี	N	$\bar{X}$	S.D.	t	Sig.
ปริมาณธาตุอาหาร (%)	ไนโตรเจน	กรมวิชาการเกษตร	3	4.89	0.22	-0.177	0.467
		ทดสอบ	3	4.92	0.15		
	ฟอสฟอรัส	กรมวิชาการเกษตร	3	1.05	0.06	3.895	0.128
		ทดสอบ	3	0.75	0.12		
	โพแทสเซียม	กรมวิชาการเกษตร	3	3.18	0.49	-1.760	0.320
		ทดสอบ	3	4.08	0.73		

สำหรับปริมาณโปรตีน แม้ว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีการเพาะเลี้ยงแหนแดงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร แต่พบว่ากรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีปริมาณโปรตีนสูงกว่ากรรมวิธีเพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งทำให้มีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ 30.72 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แหนแดงที่เพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรมีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ 30.58 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุที่พบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่ากรรมวิธีเพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ที่ 67.42 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แหนแดงที่เพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ที่ 63.10 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับค่า C/N ratio พบว่า กรรมวิธีเพาะเลี้ยงตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทำให้แหนแดงมีค่า C/N ratio ต่ำกว่ากรรมวิธีทดสอบ คือเท่ากับ 7.50 ในขณะที่แหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีทดสอบมีค่า C/N ratio อยู่ที่ 7.96 (ตารางที่ 4.23)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ การใช้ปุ๋ยมูลโคอัตรา 1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับการใช้มุ้งตาข่ายปิดปากบ่อเพื่อพรางแสงและป้องกันแมลง เปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดสอบที่คัดเลือกโดยใช้มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ร่วมกับการพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีข้อได้เปรียบในด้านการเจริญเติบโตคือ ทำให้แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจาก 0.24 เป็น 0.25 ต่อวัน ซึ่งทำให้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ลดลงจาก 2.95 วัน เป็น 2.77 วัน และทำให้มีน้ำหนักสดสูงขึ้นจาก 1,589.94 เป็น 1,842.60 กรัม หรือคิดเป็นประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นจาก 4.89 เป็น 4.92 เปอร์เซ็นต์ และจาก 3.18 เป็น 4.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Ref. code: 25636209034518RVM

อีกทั้งยังพบว่า ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 30.58 เป็น 30.72 เปอร์เซ็นต์ และทำให้แหนแดงมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่ากรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร จาก 63.10 เป็น 67.42 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 6.85 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรยังทำให้แหนแดงมีสมบัติทางเคมีบางประการที่ให้ผลดีกว่ากรรมวิธีทดสอบ เช่น เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อและน้ำหนักแห้งสุทธิ พบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อสูงกว่ากรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรจาก 95.35 เป็น 96.13 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งสุทธิของกรรมวิธีทดสอบลดลงจาก 4.65 เป็น 3.87 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งลดลงจาก 74.64 เป็น 71.27 กรัม และสำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า กรรมวิธีทดสอบทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลงจาก 0.46 เป็น 0.38 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ส่วนการสะสมธาตุอาหารที่ลดลง ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่ลดลงจาก 1.05 เป็น 0.75 รวมไปถึงค่า C/N ratio ที่พบว่ากรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทำให้แหนแดงมีค่า C/N ratio ที่ต่ำกว่า คือมีค่า 7.50 ในขณะที่กรรมวิธีทดสอบมีค่า C/N ratio อยู่ที่ 7.96 (ตารางที่ 4.24)

ตารางที่ 4.23 ปริมาณโปรตีน อินทรียวัตถุ และ C/N ratio ของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน

ข้อมูล	กรรมวิธี	N	$\bar{X}$	S.D.	t	Sig.
โปรตีน (%)	กรมวิชาการเกษตร	3	30.58	1.37	-0.148	0.497
	ทดสอบ	3	30.72	0.91		
อินทรียวัตถุ (%)	กรมวิชาการเกษตร	3	63.10	8.63	-0.853	0.479
	ทดสอบ	3	67.42	1.56		
C/N ratio	กรมวิชาการเกษตร	3	7.50	1.15	-0.674	0.133
	ทดสอบ	3	7.96	0.35		

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.24 สรุปการเปรียบเทียบผลผลิตแหนแดงระหว่างการเพาะเลี้ยงด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน

ข้อมูล	กรมวิชาการเกษตร	ทดสอบ	เปรียบเทียบ (%)
อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (ต่อวัน)	0.24	0.25	+4.17
ระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (วัน)	2.95	2.77	-6.10
น้ำหนักสด (กรัม)	1,589.94	1,842.60	+15.89
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	74.64	71.27	-4.52
ปริมาณน้ำ (%)	95.35	96.13	+0.82
น้ำหนักแห้งสุทธิ (%)	4.65	3.87	-16.77
ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)	0.46	0.38	-17.39
ปริมาณธาตุอาหาร(%)			
ไนโตรเจน	4.89	4.92	+0.61
ฟอสฟอรัส	1.05	0.75	-28.57
โพแทสเซียม	3.18	4.08	+28.30
โปรตีน (%)	30.58	30.72	+0.46
อินทรียวัตถุ (%)	63.10	67.42	+6.85
C/N ratio	7.50	7.96	+6.13

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของแหนแดงทั้งปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารหลัก กับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2557 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2548 พบว่า แหนแดงมีคุณสมบัติที่สามารถผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ตามที่พระราชบัญญัติปุ๋ยกำหนดไว้ กล่าวคือ มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 59.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังพบว่า มีปริมาณธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม และโพแทสเซียม เท่ากับ 4.92, 0.75 และ 4.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และพบว่ามีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (9.20) ที่ต่ำ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่พร้อมจะปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชได้เร็วหากมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการเพาะปลูกพืช (ตารางที่ 4.25)

Ref. code: 25636209034518RVM

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของแหนแดงกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย

ผลวิเคราะห์	แหนแดง	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พศ. 2557 กรมวิชาการเกษตร (เพิ่มเติมจาก พ.ศ.2548)
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	67.42	≥ 30.0
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	7.96	≤ 20:1
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)	4.92	≥ 1.0
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.75	≥ 0.5
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (%)	4.08	≥ 0.5

Ref. code: 25636209034518RVM

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการเพาะเลี้ยงแหนแดงเพื่อใช้ทางการเกษตร ที่ศึกษาตั้งแต่ชนิดของมูลสัตว์ อัตราการใช้มูลสัตว์ รวมถึงการพรางแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงเพื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับกรรมวิธีของกรมวิชาการเกษตร พบว่า การใช้มูลสุกรอัตรา 20.16 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร ร่วมกับการพรางแสงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อเดือนถึง 1,842.60 กรัมต่อ 0.5 ตารางเมตร (3,685.2 กรัมต่อตารางเมตร) หรือประมาณ 3.7 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นถึง 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรที่ให้ใช้ปุ๋ยมูลโคอัตรา 1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับการใช้มุ้งตาข่ายปิดปากบ่อเพื่อพรางแสง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การเพาะเลี้ยงแหนแดงสามารถเริ่มจากการเพาะเลี้ยงในวงบ่อซีเมนต์ที่หาซื้อได้ง่ายตามร้านวัสดุก่อสร้างทั่วไป โดยสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งแบบพราง และไม่พรางแสง ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และข้อจำกัดของเกษตรกร ซึ่งต้นทุนของการจัดการทั้งการให้ปุ๋ยคอกและการพรางแสงเพื่อการเพาะเลี้ยงแหนแดงจะแตกต่างกันไป ดังตัวอย่างที่คำนวณต้นทุนการเพาะเลี้ยงแหนแดงด้วยวงบ่อซีเมนต์ 10 บ่อ เป็นเวลา 1 เดือน ที่แสดงในภาคผนวก ก เพื่อเป็นแนวทางให้กับเกษตรกรที่สนใจเพาะเลี้ยงแหนแดงเพื่อขายเป็นแม่พันธุ์หรือใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการเพาะปลูกพืช

Ref. code: 25636209034518RVM

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

กมลวรรณ ศรีปลั่ง สุรางค์วัตน์ พันแสง และ พวงผกา แก้วกรม. (2554). การศึกษา สภาวะที่เหมาะสมต่อการ เจริญเติบโต ของแหนแดงในท้องถิ่น และสาหร่ายสี เขียวแกมน้ำเงินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏเพชรบูรณ์. 75 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ประยูร สวัสดี สมพร ชุนห์ลือชานนท์ และนันทกร บุญเกิด. (2530). รายงานผลการวิจัยการใช้แหนแดงเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าว. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 28 หน้า.

พัชรี สินธุนาวา และ ธนิดา ยงยืน. (2556). การเปรียบเทียบผลผลิตและคุณภาพข้าวที่ได้จากปุ๋ยแหนแดงและปุ๋ยเคมี. โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 58 หน้า.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต นิศารัตน์ ทวีนุต และประไพ ทองระอา. (2553). ศึกษาการสลายตัวและการปลดปล่อยไนโตรเจนของแหนแดงในการผลิตมะเขือเทศสเชอรี่ ในสภาพกระถางทดลอง. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และประไพ ทองระอา. (2553). ศึกษาการสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของแหนแดงในดินสภาพต่างๆ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และประไพ ทองระอา. (2557). การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของแหนแดงที่ใช้เป็นวัสดุพาสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

Hunt, R. (1990). Basic growth analysis: plant growth analysis for beginner. Unwin Hayman Ltd., London. 112 p.

Khan, M.M. (1983). A primer on Azolla production and utilization in agriculture, UPLB, PCARRD and SEARCA, Los Banos.

Ref. code: 25636209034518RVM

บทความวารสาร

คมสัน นครศรี ประสาน วงศาโรจน์ และสำราญ อินแถลง. (2542). อัตราของแหนแดง (*Azolla pinnata* B.Br.) ต่อการควบคุมวัชพืชในนาหว่านน้ำตม. ว.วิชาการเกษตร 17(3): 303-309.

นันทกร บุญเกิด. (2536). การขยายพันธุ์แหนแดงโดยการใช้สปอร์ วารสารวิชาการเกษตร 11: 245-254.

ปทุมมาลย์ นาคสมพันธ์ ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ลพ ภวภูตานนท์ และภาสันต์ ศารทูลทัต. (2561). ผลของ pH และความเข้มข้นของโมลิบดีนัมในการเจริญเติบโตของแหนแดง (*Azolla microphylla*). ว.วิทย์.กษ.49(2): 349-352.

ปริศนา อัครพงษ์สวัสดิ์. (2560). ประสิทธิภาพจุลินทรีย์อีเอ็มร่วมกับมูลสัตว์ต่อผลผลิตแหนแดง. วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา VE-IRJ 1(1): 86-93.

ปริศนา อัครพงษ์สวัสดิ์. (2560). ประสิทธิภาพจุลินทรีย์อีเอ็มร่วมกับมูลสัตว์ต่อผลผลิตแหนแดง. วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา VE-IRJ 1(1): 86-93.

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก วิภา หอมหวน ดำรงศักดิ์ สุวรรณศรี และนุชนันท์ พลฤทธิ์. (2558). การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยแหนแดง (*Azolla microphylla*) ในระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำ. ว.วิทย.มข. 43(4): 698-714.

พีรยุทธ สิริฐนกร อารยา อาจเจริญ เทียนหอม ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต กัลยาณี สุวิทวัส พิมพ์นิภา เพ็งช่าง เจนจิรา ชุมภูคำ และคณะ. (2559). ผลของไมคอร์ไรซาร่วมกับผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพต่อการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในแปลงปลูก. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร2(พิเศษ): 357-360.

ศิราภรณ์ ชื่นบาล และฐปน ชื่นบาล. (2562). การศึกษาการเจริญ การสะสม และการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร. RMUTI JOURNAL Science and Technology 12(1): 86-96.

อนุรักษ์ เขียวขจรเขต อมรรัตน์ วันอังคาร กุลยาภัสร์ วุฒิจารี ณัฐมนตรี คงกระพันธ์ และณัฐพงศ์ วงศ์ใหญ่. (2555). การใช้ประโยชน์จากแหนแดงอบแห้งในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.). แก่นเกษตร 40 (พิเศษ2): 518-521.

Abduh, Muhammad Yusuf, Ono, Janus Manabu, Khairani, Maulidia and Manurung, Robert. (2017). The influence of light intensity on the Protien content of *Azolla Microphylla* and pre-treatment with *Saccharomyces cerevisiae* to increase protein recovery. Journal of Applied Sciences Research 13(8): 16-23.

Ref. code: 25636209034518RVM

Anitha, KC., Rajeshwari, YB., Prasanna, SB and Shilpa, Shree J. (2016). Nutritive evaluation of azolla as livestock feed. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences 4(6): 670-674.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts phenoloxidase in Beta vulgaris. Plant physiology 24(1): 1–15.

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

Aziz, T. and I. Watanabe, (1983). Influence of nutrients on the growth and mineral composition of *Azolla pinnata*. Bangladesh J. Bo., 12 (2): 166-170.

Bairagi, A., Ghosh, K.S., Sen, S.K., and Ray, A.K. (2002). Duckweed (*Lemna polyrhiza*) leaf meal as a source of feed stuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerings after fermentation with a fish intestinal bacterium. Bioresource Technololgy 85: 17-24.

Bar, E., Kulasooriya, S.A. and Tel-Or, E. (1991). Regulation of nitrogenase activity by light in *Azolla-Anabaena* symbiosis. *Bioresource Technology*. 38, 171-177.

Barus, Wan Arfiani, Khair, Hadriman and Fatrian. (2018). Growth response and production of broccoli (*Brassica oleracea*) with application of azolla composting at several plant spacing. Indonesian Journal of Agricultural Research 1(2): 179-186.

Biswas, M., Parveen, S., Shimozawa, H. and Nakagoshi, N. (2005). Effects of Azolla species on weed emergence in a rice paddy ecosystem. Weed Biology management. 5, 176-183.

Bocchi, S. and Malgioglio, A. (2010). Azolla-Anabaena as a Biofertilizer for Rice Paddy Fields in the Po Valley, a Temperate Rice Area in Northern Italy. International Journal of Agronomy. doi:10.1155/2010/152158.

Cary, P.R. and Weerts, P.G.J. (1992). Growth and nutrient composition of *A. pinnata* R. Brown and *A. filiculoides Lam*. as affected by water temperature, nitrogen and phosphorus supply, light intensity and pH. Aquatic Botany. 43, 163-180.

Costa, M.L., Santos, M.C.R., Carrapico, F. and Pereirac, A.L. (2009). Azolla-Anabaena's behaviour in urban wastewater and artificial media-Influence of combined nitrogen. *Water Resource.* 43, 3743-3750.

Ref. code: 25636209034518RVM

EL Katony, T.M., Serao, M.S., Badway, A.M. and Mousa, M.A. (1996). Effect of phosphorus on growth and uptake of nutrients by *A. filiculoides* Lam. *Journal of Environmental Sciences*. 12, 69-88.

Forni, C., Giordani, F., Pintore, M. and Campanella, L. (2008). Effects of sodium dodecyl sulphate on the aquatic macrophytes *Azolla* and *Lemna*. Plant Biosystems 142(3): 665-668.

Handajani, Hany. (2011). Optimation of nitrogen and phosphorus in azolla growth as biofertilizer. Makara Teknology 15(2): 142-146.

Indira, D., Rao, K. Sarjan, Suresh J., Naidu, K. Venugopal and Ravi, A. (2014). Optimum conditions for culturing of Azolla (*Azolla pinnata*). Int.J.Adv.Res.Biol.Sci 1(2): 87-89.

Lestari, Sri Utami, Mutryarny Enny and Susi, Neng. (2019). Azolla Mycrophylla Fertilizer For Sustainable Agriculture: Compost And Liquid Fertilizer Applications. International Journal of Scientific & Technology Research. 8(7): 542-547.

Liu, X., Min, C., Xia-shi, L. and Chungchu, L. (2008). Research on some functions of *Azolla* in CELSS system. *Acta Astronautica*. 63, 1061-1066.

Pabby A, Prasanna R, Singh PK.2003. Azolla-Anabaena symbiosis from traditional agricultural to biotechnology.Ind J Biotechnol. 2: 26-37.

Pouil, Simon, Samsudin, Reza, Slembrouck, Jacques, Sihabuddin, Ahmad, Sundari, Gusnia, Khazaidan, Khazaidan, et al. (2020) Effect of shading, fertilization and snail grazing on the productivity of the water fern *Azolla filiculoides* for tropical freshwater aquaculture. Aquatic Botany. 160 (2020): 103150.

Sadeghi, R., Zarkami R., Sabetraftar, K. and Damme, P. Van. (2012). A review of some ecological factors affecting the growth of *Azolla spp*. Caspian J. Env. Sci. 11(1): 65-76.

Serag, M.S., El-Hakeem, A., Badway, M. and Mousa, M.A, (2000). On the ecology of *A. filiculoides* Lam. in Damietta District, Egypt. *Limnologica*. 30, 73-81.

Subudhi, B.P.R. and Singh, P.K. (1979). Effect of phosphorus and nitrogen on growth, chlorophyll, amino nitrogen, soluble sugar contents and algal heterocysts of water fern Azolla pinnata . Biol Plant 21: 401–406.

Ref. code: 25636209034518RVM

Syamsiyah, Jauhari, Sunarminto, Bambang Hendro, and Mujiyo. (2016). Changes in soil chemical properties of organic paddy field with Azolla application. Journal of Soil Science and Agroclimatology 13(1): 68-73.

Tantawy, Skina T.A. and Fahmy, Soheir S. (2005) Effect of inoculation density of azolla fronds on nitrogenase activity and heterocyst frequency of the *Azolla-Anabaena Azollae* symbiosis. Egyptian J. of Phycol 6: 17-26.

TejaswinI, G.S., Mahadevakumar, S. and janardhana, G.r. (2015). Effect of Azolla pinnata on Seed Germination, Vigour Index, Biomass and Yield of French Bean (*Phaseolus vulgaris*). Current Agriculture Research Journal 3(2): 137-141.

Uheda, E., Kitoh, S. and shiomi, N. (1999). Response of six Azolla species to transient high temperature stress. Aquatic Botany. 64, 87-92.

Utomo, Ristianto, Noviandi, Cuk Tri, Umami, Nafiatul and Permadi, Adhitya. (2019). Effect of Composted Animal Manure as Fertilizer on Productivity of *Azolla Pinnata* Grown in Easthen Ponds. OnLine Journal of Biological Sciences. 19(4): 232-236.

Wagner, G.M. (1997). *Azolla*: a review of its biology and utilization, *Botanical Review*. 63, 1-26.

Walkley, A. and I.A. Black. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-37.

Yadav, R.K., Abraham,G., Singh, Y.V. and Singh, P.K. (2014). Advancements in the utilization of *Azolla-Anabaena* system in relation to sustainable agricultural practices. 2014. Proc Indian Natn Sci Acad 80(2): 301-316.

Zahran, H.H., Abo–Ellil, A.H. and Al-Sherif, E.A. (2007). Propagation, taxonomy and ecophysiological characteristics of the Azolla-Anabaena symbiosis in freshwater habitats of Beni-Suef Governorate (Egypt). *Egyptian Journal of Biology*. 9, 1-12.

Ref. code: 25636209034518RVM

รายงานการประชุมวิชาการ

กุลยาภัสร์ วุฒิจารี อัจฉรา พวงน้ำอ่าง เทวินทร์ ทองมูล และวันดี ทาตระกูล. (2555). การใช้ประโยชน์จากแหนแดงอบแห้งในอาหารไก่เนื้อ. หน้า.262-267. *ใน*: การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 10. วันที่ 24-29 กรกฎาคม 2555. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

ศิราภรณ์ ชื่นบาล วิภาพร จารุธนกุล ฐปน ชื่นบาล และปานวาด ศิลปวัฒนา. (2560). การศึกษาการเจริญและการสลายตัวของแหนแดง, หน้า 132-138. ใน: รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยแม่โจ้. วันที่ 7-8 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

Sachdeva, Sarita, and Sharma, Anita. (2012). Azolla: Role in phytoremediation of heavy metals. In: Conference: Science in Media. YMCA University of Science and Technology, Faridabad, Haryana, India

Tuan, D.T. and Thuyet, T.Q. (1979). Use of Azolla in rice production in Vietnam. In: Nitrogen and Rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp 395-405.

Widiastuti, Dwi P., Davis, Jessica G. and Gafur, Sutarman. (2016). Azolla fertilizer as an alternative N source for red spinach production on alluvial and peat soils in West Kalimantan, Indonesia. 2016. *In*: Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference, "Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world". 4 – 8 December 2016, Melbourne, Australia.

วิทยานิพนธ์

สายัณห์ คำรักษา. (2554). การเพาะเลี้ยงและการประเมินคุณภาพแหนแดง (*Azolla Microphylla*) เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสุกร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

เทคโนโลยีชาวบ้าน. (25 สิงหาคม 2563). แหนแดง พืชน้ำมหัศจรรย์ เปรียบเหมือนโรงงานผลิตปุ๋ยใช้ปลูกข้าว เลี้ยงสัตว์ ทำเกษตรอินทรีย์ ช่วยลดต้นทุน. สืบค้นจาก https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_108676

Ref. code: 25636209034518RVM

พืชเกษตร. (25 สิงหาคม 2563). แหนแดง และประโยชน์แหนแดง. สืบค้นจาก https://puechkaset.com/แหนแดง, 25 สิงหาคม 2563.

สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน. (25 สิงหาคม 2563). แผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:100,000 (ปรับปรุงข้อมูลทั้งประเทศ ปี 2554). กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. สืบค้นจาก https://www.ldd.go.th/www/lek_web/web.jsp?id=18906

Ref. code: 25636209034518RVM

ภาคผนวก

Ref. code: 25636209034518RVM

ภาคผนวก ก
ต้นทุนการเพาะเลี้ยงแหนแดง

ตารางผนวกที่ ก.1 ต้นทุนการเพาะเลี้ยงแหนแดงด้วยวงบ่อซีเมนต์ 10 บ่อ เป็นเวลา 1 เดือน

รายการ	พรางแสง	ไม่พรางแสง
ต้นทุนวัสดุอุปกรณ์ (บาท/เดือน)		
วงบ่อซีเมนต์	21.67	21.67
มูลสัตว์	28.95	28.95
วัสดุพรางแสง	5.00	0.00
ต้นทุนรวม	**55.62**	**50.62**
ผลผลิตแหนแดง (กิโลกรัม/เดือน)	15.00	15.37
ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)	**3.71**	**3.29**

- วงบ่อซีเมนต์ขนาด 80 เซนติเมตร ราคาบ่อละ 260 บาท จำนวน 10 บ่อ เป็นเงิน 2,600 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี เฉลี่ยค่าเสื่อมราคา 2,600/10 ปี/12 เดือน คิดเป็น 21.67 บาท/เดือน
- มูลสุกร อัตรา 1.93 กิโลกรัม/บ่อ ราคาเฉลี่ย 1.50 บาท/กิโลกรัม จำนวน 10 บ่อ คิดเป็น 28.95 บาท/เดือน
- วัสดุพรางแสง 15 ตารางเมตร ตารางเมตรละ 40 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี เฉลี่ยค่าเสื่อมราคา 600/10 ปี/12 เดือน คิดเป็น 5.00 บาท/เดือน

Ref. code: 25636209034518RVM

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพัชนี วิมูลชาติ
วันเดือนปีเกิด	23 กรกฎาคม 2525
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2546: บริหารธุรกิจบัณฑิต (ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ประสบการณ์ทำงาน	2549–2562 หุ้นส่วนผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีไฟหันคาธัญญกิจ

Ref. code: 25636209034518RVM