

ผลของมูลโคและมูลสุกรต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของแหนแดง (*Azolla microphylla*)

Effect of cow and pig manure on growth and yield of *Azolla microphylla*

พัชนี วิมูลชาติ¹, พฤกษ์ ชุตیمانุกุล¹ และ อรประภา เทพศิลป์วิสุทธิ์^{1*}

Patchanee Wimonchart¹, Preuk Chutimanukul¹ and Ornprapa Thepsilvisut^{1*}

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี 12120

¹ Major of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University Rungsit Centre, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของการใช้มูลโคและมูลสุกรที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารในแหนแดง เพื่อเป็นแนวทางให้กับเกษตรกรสำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดงต่อไป วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ T1: ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม) T2: ใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว T3: ใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียว และ T4-T6: ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรอัตราส่วน 25:75, 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เพาะเลี้ยงแหนแดงในบ่อซีเมนต์เป็นระยะเวลา 30 วัน จากผลการทดลองพบว่า การใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตราส่วนทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสดรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1,890.07-1,824.60 กรัมต่อตารางเมตร ทั้งนี้แม้ว่าการให้ปุ๋ยมูลสัตว์ทุกชนิดทำให้น้ำหนักแห้งสุทธิตามค่ามากกว่าการไม่ให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างการให้ปุ๋ยมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน โดยทำให้น้ำหนักแห้งสุทธิรวมอยู่ในช่วง 21.49-22.20 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารหลัก (N+P+K) ที่พบว่า การให้ปุ๋ยทุกชนิดทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลักรวมมีค่าไม่แตกต่างกัน (1.46-1.74 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าการให้ปุ๋ยมูลสุกรเพียงอย่างเดียวทำให้น้ำหนักแห้งมีการสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุด คือ 3.97 และ 0.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การให้ปุ๋ยมูลโคเพียงอย่างเดียวหรือปุ๋ยมูลโคร่วมกับมูลสุกรอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก ทำให้น้ำหนักแห้งมีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุด คือ 4.58 และ 4.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: แหนแดง; มูลสัตว์; ธาตุอาหารหลัก; ผลผลิต

ABSTRACT: The objective of this study was to determine the optimal ratio of cow and pig manures application for the growth and yield of *Azolla* (*Azolla microphylla*) to be a guideline of *Azolla* cultivation for the farmer. The experimental design was a completely randomized design (CRD) with 6 treatments and 3 replications. Treatments were consisting of T1: No fertilizer (Control), T2: cow manure only, T3: pig manure only, T4-T6: cow manure and pig manure at a ratio of 25:75, 50:50 and 75:25 by weight. *Azolla* was cultivated in concrete pond for 30 days. The results showed that the application of all the ratios of cow and pig manures gave the highest fresh weight of *Azolla* that were in a range of 1,890.07-1,824.60 g/m². Although the application of animal manures provided the significantly higher results of total dry matter production of *Azolla* than that of the control, there were no significant differences in this result between the animal manure treatments (21.49-22.20 g). This tendency was also observed in total macronutrient (N+P+K) in *Azolla* tissues, which showed that total macronutrients in *Azolla* tissues under the animal manure treatments were in a range of 1.46-1.74 g/g dry weight without any significant differences. However, the highest total nitrogen and phosphorus in *Azolla* tissues were observed under the pig manure treatments, which were 3.97% and 0.56%, respectively. The application of only cow manure or cow manure + pig manure at the ratio of 50:50 by weight provided the highest total potassium in *Azolla* tissues (4.58% and 4.29%, respectively).

* Corresponding author: ornprapa@tu.ac.th, ornprapa@hotmail.com

Keywords: Azolla; animal manure; macro nutrients; yield

บทนำ

แหนแดง (*Azolla*) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Azolla spp.* เป็นพืชตระกูลเฟิร์นชนิดลอยน้ำที่พบมากในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ใบของแหนแดงโดยเฉพาะใบบน (upper lobe) จะมีโพรงใบซึ่งเป็นที่อยู่ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena azollae*) ที่สามารถช่วยตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศและเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียมที่สะสมอยู่ในแหนแดงได้ ซึ่งตามพระราชบัญญัติปุ๋ย แหนแดงจัดอยู่ในประเภทปุ๋ยชีวภาพ ที่มีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยพืชสด และอาหารสัตว์ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในแหนแดงที่เลี้ยงในน้ำที่ฟาร์มสุกร พบว่า แหนแดงมีไนโตรเจนทั้งหมดเป็นองค์ประกอบสูงถึง 3-4 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ประมาณ 0.6-0.8 และ 5-6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ศิริภรณ์ และธูป, 2562) และพบว่า แหนแดงมีอัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ที่ต่ำกว่า 20:1 จึงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้มากโดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม (ศิริลักษณ์ และประไพ, 2557) ทั้งนี้ศิริภรณ์ และคณะ (2560) รายงานว่า แหนแดงสามารถย่อยสลายได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาเพียง 6 สัปดาห์ และจะถูกย่อยสลายหมดในระยะเวลา 13 สัปดาห์ อีกทั้งแหนแดงยังสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ในปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้แหนแดงเป็นปุ๋ยสำหรับการผลิตพืชเพื่อทดแทนปุ๋ยไนโตรเจน โดยจากการรายงานของพิรุฑ และคณะ (2559) พบว่า การใช้แหนแดงผสมลงในวัสดุปลูกอัตรา 16 กรัมต่อวัสดุปลูก 1 กิโลกรัม สามารถเพิ่มอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของกล้าต้นกล้วยที่ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ อีกทั้งยังทำให้ระยะเวลาในการแทงปลีของต้นกล้วยเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้แหนแดงผสมในวัสดุปลูก (ดิน:ทราย:ปุ๋ยหมัก อัตราส่วน 2:1:1 โดยน้ำหนัก) ปริมาณ 25 กรัม/น้ำหนักสด ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดถั่วแรมมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใส่หรือใส่แหนแดงในอัตราอื่นๆ (Tejaswini et al., 2015)

ปัจจุบัน *A. microphylla* ที่ปรับปรุงพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร ถือเป็นชนิดของแหนแดงที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากขยายพันธุ์ได้รวดเร็วและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงแหนแดงให้สามารถเจริญเติบโตได้ดีมักขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ คุณภาพน้ำ อุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และแหล่งของธาตุอาหาร เป็นต้น (Sadeghi et al., 2013) ทั้งนี้แหล่งของธาตุอาหารที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงแหนแดงพบว่ามีนิยมใช้มูลสัตว์ ยกตัวอย่างเช่น มูลโค (Indira et al., 2014) มูลไก่ และมูลกระต่าย (Utomo et al., 2019) ที่มีรายงานในการเพาะเลี้ยงแหนแดงสายพันธุ์ *A. pinnata* หรือมูลนกกระทาผสมมูลโคและมูลค้างคาวผสมมูลโคที่มีรายงานในการเพาะเลี้ยงแหนแดงทั่วไปซึ่งไม่ระบุสายพันธุ์ (ปริศนา, 2560) เป็นต้น ซึ่งจากการวิจัยก่อนหน้านี้ทำให้พบว่าชนิดของมูลสัตว์นอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีผลต่อคุณภาพของแหนแดงโดยเฉพาะการสะสมของโปรตีน หรือธาตุอาหารหลักที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เมื่อนำแหนแดงมาทำเป็นปุ๋ย ซึ่งหากมีข้อมูลของอัตราการใช้ที่เหมาะสมของมูลสัตว์ที่หาง่ายและมีราคาถูกโดยเฉพาะมูลสัตว์ที่มีลักษณะการเลี้ยงแบบเปิดหรือเป็นการเลี้ยงสัตว์ตามแนวทางเกษตรอินทรีย์สำหรับนำมาผลิตแหนแดงสายพันธุ์ *A. microphylla* ที่ยังไม่พบการรายงานดังกล่าว ย่อมทำให้เกิดเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรที่สนใจนำแหนแดงที่มีคุณภาพและปลอดภัยจากการปนเปื้อนมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพหรือพืชปุ๋ยสดสำหรับการผลิตพืชอินทรีย์ได้ต่อไป ทั้งนี้ในปัจจุบันพบว่า มูลโคและมูลสุกรที่ได้จากฟาร์มโคและสุกรอินทรีย์เริ่มหาได้มากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของมูลสัตว์ได้แก่ มูลโคและมูลสุกรต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารในแหนแดงสายพันธุ์ *A. microphylla* เพื่อเป็นแนวทางในการเพาะเลี้ยงแหนแดงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการปลูกพืชตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ต่อไป

วิธีการศึกษา

1. วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 3 ซ้ำ (บ่อ) โดยใส่มูลสัตว์ในปริมาณเท่ากันคือ 380 กรัมต่อบ่อ หรือ 1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (ปริศนา, 2560) ด้วยชนิดมูลสัตว์ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลอง ได้แก่

สิ่งทดลองที่ 1 ไม่ใส่มูลสัตว์ (ควบคุม)

สิ่งทดลองที่ 2 ใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลองที่ 3 ใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลองที่ 4 ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกร อัตราส่วน 25:75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สิ่งทดลองที่ 5 ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกร อัตราส่วน 50:50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สิ่งทดลองที่ 6 ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกร อัตราส่วน 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. วิธีการทดลอง

เพาะเลี้ยงเห็ดในบ่อซีเมนต์ขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 55x55x35 เซนติเมตร ซึ่งคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.30 ตารางเมตร จำนวน 18 บ่อ บรรจุน้ำในบ่อสูงประมาณ 20 เซนติเมตร เติมน้ำเปล่าสูงจากผิวดิน 10 เซนติเมตร ส่วนมูลสัตว์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ มูลโคเนื้อที่เลี้ยงแบบเปิด ณ ตำบลสระกระโจม อำเภอดอนเจดีย์ จังหวัดสุพรรณบุรี และมูลสุกรจากฟาร์มหมูหลุมอินทรีย์วิเศษชุมชน ตำบลดอนแร่ อำเภอมือง จังหวัดราชบุรี ซึ่งมูลสัตว์ทั้งสองชนิดผ่านการฝังในที่ร่มและมีความชื้นอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดังแสดงใน Table 1 ใส่มูลสัตว์แต่ละชนิดลงในบ่อตามที่กำหนดในสิ่งทดลอง จากนั้นใส่เห็ดนางฟ้า *A. microphylla* ลงในบ่อปริมาณ 30 กรัม/บ่อ พรางแสงที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ และเก็บเกี่ยวเห็ดนางฟ้าทุก 10 วัน จำนวน 3 รอบการเก็บเกี่ยว

Table 1 Selected chemical properties of cow manure and pig manure

Chemical properties	Cow manure	Pig manure
pH ^{1/}	9.30	7.50
EC ^{2/} (dS/m)	6.63	1.12
Organic matter ^{3/} (%)	41.63	15.9
Total N ^{4/} (%)	1.16	0.52
Total P ^{5/} (%)	0.34	0.64
Total K ^{6/} (%)	3.31	0.72
C/N ratio ^{3/,6/}	20.80	17.63

^{1/} pH (1:1 H₂O w/v); ^{2/} EC (1:5 H₂O); ^{3/} OM (Walkley and Black method); ^{4/} N (Kjeldahl method); ^{5/} P (Vanadomolybdate method);

^{6/} K (wet digestion method)

3. การบันทึกผล

3.1 สภาวะแวดล้อมระหว่างการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และอุณหภูมิของน้ำโดยบันทึกวันละครั้ง คือช่วง 12.00-13.00 น. นอกจากนี้ บันทึกความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อ โดยบันทึกในช่วงเวลาเดียวกันก่อนการเติมน้ำในทุกวัน

3.2 การเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และปริมาณคลอโรฟิลล์ของเห็ดนางฟ้า บันทึกทุก 10 วันตามรอบการเก็บเกี่ยว (วันที่ 10, 20 และ 30) ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง โดยน้ำหนักแห้งทำการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ อีกทั้งบันทึกระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (doubling time) (Aziz and Watanabe, 1983) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate, RGR) ที่มีหน่วยเป็นต่อวัน (Hunt, 1990) และวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยวิธีดัดแปลงจาก (Forni et al., 2008) โดยนำเหินแดงมาแช่ในไนโตรเจนเหลวและบดตัวอย่างจนละเอียด ซึ่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่เติม 80% Acetone ปริมาตร 10 มิลลิลิตร สกัดในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที และนำสารละลายตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 3,000 รอบ เป็นเวลา 20 นาที และวิเคราะห์สารละลายสีที่สกัดได้ด้วยวิธีดัดแปลงจาก Arnon (1949) ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปแทนค่าในสมการเพื่อคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ($\mu\text{g/g}$ FW)

3.3 สมบัติทางเคมีของเหินแดง ได้แก่

3.3.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ วิเคราะห์ด้วยวิธีของ Walkley และ Black (1934) โดยชั่งตัวอย่างบดละเอียด 0.5 กรัม เติมน้ำยาสกัด $1\text{N K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และเติม H_2SO_4 เข้มข้น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร และหยด Indicator 3 หยด ไตเตรท Suspension ด้วยน้ำยา $0.5\text{N Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ จนกระทั่งถึงจุดสมมูล และคำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

3.3.2 ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl method ส่วนฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) และโพแทสเซียมทั้งหมด ทำการย่อยตัวอย่างด้วย digestion mixture ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$, 2:1) และวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยวิธี Vanadomolybdate ส่วนโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame photometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

3.3.3 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) คำนวณได้จากการหาอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุด้วยวิธี Walkley and Black (1934) และค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนรวมที่วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. สถานะแวดล้อมระหว่างการทดลอง

จากการบันทึกสภาพอากาศสำหรับการเพาะเลี้ยงเหินแดงสายพันธุ์ *A. microphylla* ในเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน 2563 พบว่า อุณหภูมิในบริเวณที่เลี้ยงเหินแดงมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 31.2-34.5 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิของน้ำที่เลี้ยงอยู่ในช่วง 29.2-34.0 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเหินแดงที่ไม่ควรเกิน 35 องศาเซลเซียส (Tuan and Thuyet, 1979) สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 43.2-85.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่อนข้างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงระหว่าง 65-75 เปอร์เซ็นต์ ที่ถือว่าเป็นความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเหินแดงทั่วไป (Biswas et al., 2005) และพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตลอดการทดลอง (pH 7.27-7.55) ยังคงมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเหินแดงเนื่องจากมีค่าอยู่ในช่วง 4.5-7.5 (Carry and Weerts, 1992)

2. การเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และปริมาณคลอโรฟิลล์ของเหินแดง

การใส่มูลสัตว์ทุกชนิดโดยเฉพาะการใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียว หรือ ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตรา (25:75, 50:50 และ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำให้เหินแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยทุกรอบการเก็บเกี่ยวมีค่าอยู่ในช่วง 0.17-0.18 ต่อวัน ในขณะที่การใส่มูลโคเพียงอย่างเดียวหรือไม่ใส่มูลสัตว์ ทำให้เหินแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.16 และ 0.09 ต่อวัน ตามลำดับ สอดคล้องกับผลของระยะเวลาเพิ่มเป็น 2 เท่า ที่พบว่า การใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียว หรือ ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตรา

(25:75, 50:50 และ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำให้แหนแดงในทุกรอบการเก็บเกี่ยวมีปริมาณเพิ่มเป็น 2 เท่า ในระยะเวลาประมาณ 4 วัน ในขณะที่การใส่มูลโคเพียงอย่างเดียวหรือไม่ใส่มูลสัตว์ทำให้แหนแดงมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นานกว่าคือประมาณ 5 และ 9 วัน ตามลำดับ (Table 2) อย่างไรก็ตาม พบว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของแหนแดงในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงในการเก็บเกี่ยวรอบที่ 3 โดยเฉพาะสิ่งทดลองที่ใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว ที่พบว่าแหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำที่สุดและระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่าที่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรหรือการใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสที่อาจมีน้อยลงจนส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและสังเกตได้จากการที่แหนแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดง สอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารในมูลโคและมูลสุกรที่ใช้ในการทดลองซึ่งพบว่า มูลโคมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่ามูลสุกร ทั้งนี้ El Katony et al. (1996) รายงานว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแหนแดงและเป็นธาตุที่แหนแดงมักแสดงอาการขาด ในขณะที่ไนโตรเจนที่ถึงแม้ว่าจะเป็นธาตุอาหารหลักที่แหนแดงต้องการในปริมาณมากเช่นกันแต่พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena* sp.) ที่อาศัยอยู่ในโพรงใบของแหนแดงสามารถช่วยในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศและเปลี่ยนเป็นรูปของไนโตรเจนที่แหนแดงนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Costa et al., 2009)

Table 2 Relative growth rate and doubling time of *A. microphylla* harvested every 10 days over a period of 30 days under different manure treatments

Treatment	Relative Growth Rate (g/g*day)				Doubling time (day)			
	First harvest	Second harvest	Third harvest	Average	First harvest	Second harvest	Third harvest	Average
T1 Control (no fertilizer)	0.11 b ^{1/}	0.12 c	0.05 d	0.09 c	6.37 a	5.83 a	13.45 a	8.55 a
T2 Cow manure 100	0.20 a	0.19 b	0.10 c	0.16 b	3.47 b	3.57 b	7.02 b	4.69 b
T3 Pig manure 100	0.18 a	0.20 b	0.15 a	0.17 ab	3.80 b	3.55 b	4.76 c	4.03 bc
T4 Cow:Pig manure, 25:75 w/w	0.19 a	0.21 a	0.14 a	0.18 a	3.62 b	3.35 b	4.84 c	3.94 c
T5 Cow:Pig manure, 50:50 w/w	0.19 a	0.21 ab	0.13 b	0.18 a	3.61 b	3.38 b	5.43 c	4.14 bc
T6 Cow:Pig manure, 75:25 w/w	0.20 a	0.21 ab	0.11 bc	0.17 ab	3.47 b	3.33 b	6.07 bc	4.29 bc
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	4.68	2.80	7.74	2.95	9.42	3.65	7.00	7.10

** Significance at the 99% confidence level

^{1/} Mean followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.01$ by Duncan's multiple range test

เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักสดของแหนแดงรวม 3 รอบการเก็บเกี่ยว (ระยะเวลา 1 เดือน) พบว่า การใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตรา (25:75, 50:50 และ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำให้แหนแดงมีน้ำหนักสดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1,824.60-1,890.07 กรัมต่อตารางเมตร และมีค่าสูงกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์หรือการใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว และแม้ว่าการใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตราส่วนจะทำให้แหนแดงมีปริมาณผลผลิต (น้ำหนักสด) มากกว่าการใส่มูลสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่หากเปรียบเทียบระหว่างการใส่มูลโคและมูลสุกรเพียงอย่างเดียว พบว่า การใส่มูลสุกรมีแนวโน้มทำให้น้ำหนักสดของแหนแดงมีค่ามากกว่าการใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว ซึ่งแม้ว่ามูลโคจะมีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงกว่า แต่พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่า ทั้งนี้ Sadeghi et al. (2013) รายงานว่า ธาตุฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO_4^{2-}) ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญเติบโตของแหนแดงเป็นอย่างมาก เนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อการเร่งการเจริญเติบโตของแหนแดง โดยหากมีปริมาณฟอสฟอรัสเพียงพอในน้ำที่ใช้เลี้ยงแหนแดง อาจไม่จำเป็นต้องให้ไนโตรเจนทั้งในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) หรือไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งยังคงทำให้แหนแดงมีการเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสิ่งทดลองที่ใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียวทำให้แหนแดงได้รับปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงที่สุด แต่พบว่าการใส่มูลสัตว์ร่วมกันกลับให้ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดมากกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะนอกจากฟอสฟอรัสแล้ว แหนแดงยังต้องการ

ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และจุลธาตุต่างๆ (Sadeghi et al., 2013) โดยเฉพาะโพแทสเซียมมีส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตของหน่อแดง (Reddy, 1991) ซึ่งในมูลโคมีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่ามูลสุกร (Table 1) ดังนั้นการใช้มูลสัตว์ร่วมกันจึงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้อย่างสมดุลและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของหน่อแดง อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาที่ปริมาณน้ำหนักรวมของหน่อแดงที่ให้ชนิดของปุ๋ยมูลสัตว์ที่แตกต่างกันในระยะเวลา 1 เดือน พบว่า การใส่มูลสัตว์ทุกชนิดทำให้น้ำหนักรวมของหน่อแดงมีค่าไม่แตกต่างกันแต่มีค่าสูงกว่าการไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 21.49-22.20 กรัม (Table 3) ทั้งนี้เมื่อหน่อแดงได้รับธาตุอาหารหลักทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมถึงธาตุอาหารอื่นๆ จากปุ๋ยคอกทั้ง 2 ชนิด ย่อมทำให้หน่อแดงมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการส่งเสริมซึ่งกันและกันของธาตุอาหารที่หลากหลาย ดังเช่นการศึกษาของ Biswas et al. (2005) ที่รายงานว่า จุลธาตุอย่างเหล็กและโมลิบดีนัมที่มีอยู่ในมูลโคช่วยเพิ่มความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้กับทั้งหน่อแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ทำให้หน่อแดงมีการสะสมของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

Table 3 The total fresh weight, dry weight, water content and dry matter of *A. microphylla* under different treatment of cow manure and pig manure

Treatment	Fresh Weight (g/m ²)	Dry Weight (g/m ²)	Water Content (%)	Dry matter (%)	Total dry matter production (g)
T1 Control (no fertilizer)	801.92 d ^{1/}	46.71 b	94.03 c	5.97 a	14.36 b
T2 Cow manure 100	1,702.68 c	68.53 a	95.65 b	4.35 b	22.20 a
T3 Pig manure 100	1,762.73 bc	71.28 a	95.92 ab	4.08 bc	21.55 a
T4 Cow:Pig manure, 25:75 w/w	1,890.07 a	71.38 a	96.15 a	3.85 c	21.75 a
T5 Cow:Pig manure, 50:50 w/w	1,824.60 ab	67.28 a	96.16 a	3.84 c	21.91 a
T6 Cow:Pig manure, 75:25 w/w	1,858.14 ab	69.19 a	96.00 a	4.00 c	21.49 a
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	3.65	5.23	0.18	4.04	6.36

** Significance at the 99% confidence level

^{1/} Mean followed by the same letters are not significantly different at p<0.01 by Duncan's multiple range test

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในทุกรอบการเก็บเกี่ยว พบว่า การใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว หรือใส่ร่วมกับมูลสุกรที่อัตราส่วนที่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (มูลโค:มูลสุกร อัตราส่วน 50:50 และ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของหน่อแดงมีค่าสูงกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์หรือการใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียวหรือใส่ในสัดส่วนที่มากกว่า ซึ่งพบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วง 0.33-0.36 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด (Table 4) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ที่พบว่า มูลโคมีปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่ามูลสุกร (Table 1) ซึ่งเมื่อเกิดการย่อยสลายย่อมมีการปลดปล่อยไนโตรเจนให้หน่อแดงได้มากกว่า และนำไปสู่การสร้างคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่อยู่ในโครงสร้างหลักของคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกับแมกนีเซียม (Wu and Rebeiz, 1985)

3. สมบัติทางเคมีของแหนแดง

การสะสมธาตุอาหารของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงด้วยมูลโคและมูลสุกรในอัตราที่ต่างกัน พบว่า การใส่มูลสัตว์ทุกชนิดทำให้แหนแดงมีการสะสมธาตุอาหารมากกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีธาตุอาหารหลักรวม (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) อยู่ในช่วง 1.58-1.74 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (Table 5) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการสะสมไนโตรเจนของแหนแดง พบว่า การใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียวทำให้แหนแดงมีการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมสูงที่สุดคือ 3.97 และ 0.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว หรือการใส่มูลโครวมกับมูลสุกร 50:50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้แหนแดงมีการสะสมโพแทสเซียมมากที่สุด คือเท่ากับ 4.58 และ 4.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 5) จากผลการทดลองเป็นที่น่าสนใจว่า การสะสมของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมรวมในแหนแดงเป็นไปตามปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในมูลสัตว์ทั้ง 2 ชนิด กล่าวคือ การใส่มูลสุกรที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าโดยใส่เพียงอย่างเดียวหรือใส่ในอัตราส่วนที่มากกว่า ทำให้แหนแดงมีการสะสมของฟอสฟอรัสรวมมากกว่าการใส่มูลสุกรในอัตราส่วนที่ต่ำ และการใส่มูลโคเพียงอย่างเดียวหรือใส่ในอัตราส่วนที่มากกว่า ซึ่งมูลโคมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่ามูลสุกร ส่งผลให้แหนแดงมีการสะสมของโพแทสเซียมรวมสูงกว่าการใส่มูลโคในอัตราส่วนที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในแหนแดงไม่แปรผันตามการใส่มูลโคซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนที่มากกว่ามูลสุกร ทั้งนี้ Costa et al. (2009) ได้รายงานว่ แหนแดงนอกจากจะได้รับไนโตรเจนจากแหล่งของธาตุอาหารอย่างมูลสัตว์ที่ใส่ลงไปแล้ว ยังสามารถได้รับไนโตรเจนจากการตรึงไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการ Nitrogen fixation ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อยู่ในโพรทอซัวของแหนแดง ซึ่งประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำที่ใช้เลี้ยงแหนแดงมีปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ (Handajani, 2011) อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยนี้พบความไม่สอดคล้องกันระหว่างปริมาณไนโตรเจนรวมและปริมาณคลอโรฟิลล์ในแหนแดง ที่พบว่า การให้ปุ๋ยมูลโคเพียงอย่างเดียวทำให้แหนแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สะสมในแหนแดงมีค่าน้อยกว่าการให้ปุ๋ยมูลสัตว์อื่นๆ ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่า การสะสมของคลอโรฟิลล์ในแหนแดงอาจมีผลมาจากปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ นอกจากเพียงแค่อัตราไนโตรเจน ซึ่งจากการรายงานของ Subudhi and Singh (1979) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในแหนแดงจะลดลงเมื่อแหนแดงได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหากพิจารณาที่ปริมาณฟอสฟอรัสในมูลสัตว์ พบว่า มูลสุกรมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่ามูลโค และมีแนวโน้มว่าการใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับมูลโคในอัตราที่มากกว่า ทำให้แหนแดงมีการสะสมของฟอสฟอรัสมากกว่าการใส่มูลโคเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในแหนแดงได้เช่นกัน

Table 4 Chlorophyll content of *A. microphylla* under different manure treatments

Treatment	Chlorophyll content (µg/g FW) ^{1/}		
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll
T1 Control (no fertilizer)	0.19 c ^{2/}	0.07 c	0.27 b
T2 Cow manure 100	0.26 a	0.10 a	0.36 a
T3 Pig manure 100	0.18 c	0.07 c	0.25 b
T4 Cow:Pig manure, 25:75 w/w	0.19 c	0.08 bc	0.28 b
T5 Cow:Pig manure, 50:50 w/w	0.23 b	0.09 ab	0.33 a
T6 Cow:Pig manure, 75:25 w/w	0.24 b	0.10 a	0.34 a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	5.09	9.20	6.22

** Significance at the 99% confidence level

^{1/} Chlorophyll content in fresh leaf were extracted in 80% acetone by modified method of Forni et al. (2008) and Arnon (1949)

^{2/} Mean followed by the same letters are not significantly different at p<0.01 by Duncan's multiple range test

สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่า การใส่มูลสัตว์ทุกชนิดทำให้แห้งแดงมีการสะสมของโปรตีนมากกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ โดยการใส่มูลสุกรเพียงอย่างเดียวทำให้แห้งแดงมีการสะสมโปรตีนสูงที่สุดคือ 24.83 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกร อัตราส่วน 50:50 และ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ทำให้แห้งแดงมีการสะสมของโปรตีนเท่ากับ 24.32 และ 23.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 6) สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างการใส่และไม่ใส่มูลสัตว์ในชนิดของอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้แห้งแดงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 63.93-72.72 เปอร์เซ็นต์ ที่ถือได้ว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง และในด้านอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) พบว่า การใส่มูลสัตว์ทุกสิ่งทดลองทำให้แห้งแดงมี C/N ratio อยู่ในช่วง 9.89-10.81 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแห้งแดงที่ไม่ได้รับมูลสัตว์ที่มีค่า C/N ratio เท่ากับ 14.63

Table 5 The nutrient content of *A. microphylla* under different treatment of cow manure and pig manure

Treatment	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)	Total N+P+K (% DW)	Total N+P+K (% FW)
T1 Control (no fertilizer)	2.89 e ^{1/}	0.07 e	3.12 b	0.85 b	14.68 b
T2 Cow manure 100	3.71 d	0.22 d	4.58 a	1.74 a	43.55 a
T3 Pig manure 100	3.97 a	0.56 a	3.13 b	1.64 a	40.55 a
T4 Cow:Pig manure, 25:75 w/w	3.78 d	0.42 b	3.17 b	1.58 a	41.69 a
T5 Cow:Pig manure, 50:50 w/w	3.89 b	0.39 bc	4.29 a	1.71 a	46.40 a
T6 Cow:Pig manure, 75:25 w/w	3.81 c	0.31 c	2.93 b	1.46 a	39.22 a
F-test	**	**	**	*	**
C.V. (%)	1.21	13.69	12.02	19.48	15.19

** Significance at the 99% confidence level

^{1/} Mean followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 6 Protein content, organic matter and C:N ratio of *A. microphylla* under different treatment of cow manure and pig manure

Treatment	Protein (%)	Organic matter (%)	C:N Ratio
T1 Control (no fertilizer)	18.05 e ^{1/}	72.72	14.63 a
T2 Cow manure 100	23.20 d	67.28	10.79 b
T3 Pig manure 100	24.83 a	67.21	9.89 b
T4 Cow:Pig manure, 25:75 w/w	23.65 d	68.82	10.81 b
T5 Cow:Pig manure, 50:50 w/w	24.32 b	67.96	10.25 b
T6 Cow:Pig manure, 75:25 w/w	23.81 c	63.93	10.12 b
F-test	**	ns	**
C.V. (%)	1.21	4.46	6.48

** Significance at the 99% confidence level

^{1/} Mean followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของแหนดงทั้งปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่า C/N ratio กับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่แม้ว่าตามพระราชบัญญัติปุ๋ยจะระบุแหนดงจัดอยู่ในประเภทปุ๋ยชีวภาพ แต่จากงานวิจัยนี้พบว่า แหนดงมีคุณสมบัติที่สามารถผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจน (2.89-3.97 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัส (ในรูป P_2O_5 มีค่าอยู่ในช่วง 0.16-1.28 เปอร์เซ็นต์) และโพแทสเซียม (ในรูป K_2O มีค่าอยู่ในช่วง 3.76-5.52 เปอร์เซ็นต์) ที่ต้องไม่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไนโตรเจน และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ตามลำดับ อีกทั้งแหนดงยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป และมีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 20:1 ในทุกสิ่งทดลอง ซึ่งเป็นไปตามที่พระราชบัญญัติปุ๋ยกำหนดไว้ ทั้งนี้ปริมาณธาตุอาหารหลักในแหนดงที่สูงที่สุดจากการวิจัยนี้ (N 3.97%, P 0.56%, K 4.58%) มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้า ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Singh (1979) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีของแหนดงสายพันธุ์ *A. pinnata* (N 4.0-5.0%, P 0.5-0.9%, K 2.0-4.5%) หรืองานวิจัยของเทวรัตน์ (2557) (N 3.3%, P 0.57%, K 1.23%) และศิริลักษณ์และประไพ (2553) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีของแหนดงสายพันธุ์ *A. microphylla* (N 4.62%, P 0.65%, K 5.27%) ซึ่งเป็นสายพันธุ์เดียวกับที่ศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของศิริภรณ์และธูปน (2561) ที่ศึกษาการเลี้ยงแหนดงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ซึ่งพบว่าแหนดงมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมรวมที่ได้สูงที่สุด คือ 0.87 และ 7.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่างานวิจัยในครั้งนี้ถึงประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปุ๋ยมูลสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงแหนดงโดยตรง ซึ่งมูลสุกรหรือน้ำทิ้งจากมูลสุกรโดยส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมสูง (ยงยุทธ และคณะ, 2554) หรืออาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะค่า pH ของน้ำที่ใช้เลี้ยงแหนดง (pH ของน้ำที่วิเคราะห์ได้จากการวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 7.27-7.55) ซึ่งจากการรายงานของปทุมมาล และคณะ (2561) พบว่า ช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแหนดงสายพันธุ์ *A. pinnata* มีค่าอยู่ในช่วง 4.0-4.5 เนื่องจากแหนดงมีความต้องการธาตุอาหารบางธาตุที่ละลายออกมาได้ดีในช่วง pH เป็นกรดอ่อนๆ อย่างเล็กน้อยและโมลิบดีนัม อีกทั้งหาก pH ของน้ำมีสภาพเป็นกลางหรือเป็นด่างอาจส่งผลกระทบต่อเกิดการตกตะกอนของฟอสเฟตซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สรุป

การใส่มูลโคร่วมกับมูลสุกรในทุกอัตราส่วน (25:75, 50:50 และ 25:75 โดยน้ำหนัก) ในปริมาณ 1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทำให้แหนดงมีน้ำหนักสดรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1,890.07-1,824.60 กรัมต่อตารางเมตร ภายในระยะเวลา 1 เดือน และการให้ปุ๋ยมูลสัตว์ทุกชนิดทำให้น้ำหนักแห้งสุทธิตามและปริมาณธาตุอาหารหลักรวม (N+P+K) มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 21.49-22.20 กรัม และ 1.46-1.74 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่พบว่ามีความมากกว่าการไม่ให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เพื่อให้ผลผลิตแหนดงมีความต่อเนื่องควรมีการเติมมูลสัตว์หลังจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 หรือประมาณ 20 วันหลังการเพาะเลี้ยง และจากปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแหนดงพบว่า หากต้องการเพิ่มปริมาณการสะสมของธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียม ควรคัดเลือกปุ๋ยมูลสัตว์ที่มีธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการสะสมของไนโตรเจนของแหนดงได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2557. การศึกษาแนวทางการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อย่างครบวงจร. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- ปริศนา อัครพงษ์สวัสดิ์. 2560. ประสิทธิภาพจุลินทรีย์อีเอ็มร่วมกับมูลสัตว์ต่อผลผลิตแหนดง. วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา. 1(1): 86-93.

- พิรุณ สิริธนากร, อารยา อาจเจริญ เทียนหอม, ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต, กัลยาณี สุวิทวัส, พิมพ์นิภา เพ็งช่วง, เจนจิรา ชุมภูคำ และ ทศไนย จารุวัฒนพันธ์. 2559. ผลของไมคอร์ไรซาร่วมกับผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพต่อการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในแปลงปลูก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2(พิเศษ): 357-360.
- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2554. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศิริภรณ์ ชื่นบาล, วิภาพร จารุณกุล, ฐปน ชื่นบาล และปานวาด ศิลปวัฒนา. 2560. การศึกษาการเจริญและการสลายตัวของแห่นาง, น. 132-138. ใน: รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ 7-8 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ศิริภรณ์ ชื่นบาล และฐปน ชื่นบาล. 2562. การศึกษาการเจริญ การสะสม และการปลดปล่อยธาตุอาหารของแห่นางที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร. RMUTI JOURNAL Science and Technology. 12(1): 86-96.
- ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต และประไพ ทองระอา. 2557. การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของแห่นางที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- Aziz, T., and I. Watanabe. 1983. Influence of nutrients on the growth and mineral composition of *Azolla pinnata*. Bangladesh Journal of Botany. 12(2): 166-170.
- Biswas, M., S. Parveen, H. Shimozawa, and N. Nakagoshi. 2005. Effects of *Azolla* species on weed emergence in a rice paddy ecosystem. Weed Biology Management. 5: 176-183.
- Cary, P.R., and P.G.J. Weerts. 1992. Growth and nutrient composition of *A. pinnata* R. Brown and *A. filiculoides* Lamarck as affected by water temperature, nitrogen and phosphorus supply, light intensity and pH. Aquatic Botany. 43: 163-180.
- Costa, M.L., M.C.R. Santos, F. Carrapico, and A.L. Pereira. 2009. *Azolla*-*Anabaena*'s behaviour in urban wastewater and artificial media: Influence of combined nitrogen. Water Research. 43(15): 3743-3750.
- EL Katony, T.M., M.S. Seroo, A.M. Badway, and M.A. Mousa. 1996. Effect of phosphorus on growth and uptake of nutrients by *A. filiculoides* Lam. Journal of Environmental Sciences. 12: 69-88.
- Forni, C., F. Giordani, M. Pintore, and L. Campanella. 2008. Effects of sodium dodecyl sulphate on the aquatic macrophytes *Azolla* and *Lemna*. Plant Biosystems. 142(3): 665-668.
- Handajani, H. 2011. Optimization of nitrogen and phosphorus in *azolla* growth as biofertilizer. Makara Journal of Technology. 15(2): 142-146.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis: Plant growth analysis for beginner. Unwin Hayman Ltd., London.
- Indira, D., K.S. Reddy, J. Suresh, V.K. Naidu, and A. Ravi. 2014. Optimum conditions for culturing of *Azolla* (*Azolla pinnata*). International Journal of Advanced Research in Biological Sciences 1(2): 87-89.
- Reddy, G. R. 1991. Studies on the growth of *azolla* in relation to potassium, calcium, magnesium and sulphur nutrition. M.Sc. Thesis, Andhra Pradesh Agricultural University, Hyderabad.
- Sadeghi, R., R. Zarkami, K. Sabetrftar, and P.V. Damme. 2013. A review of some ecological factors affecting the growth of *Azolla spp.* Caspian Journal of Environmental Sciences. 11(1): 65-76.
- Subudhi, B.P.R., and P.K. Singh. 1979. Effect of phosphorus and nitrogen on growth, chlorophyll, amino nitrogen, soluble sugar contents and algal heterocysts of water fern *Azolla pinnata*. Biologia Plantarum. 21: 401-406.

- Tejaswini, G.S., S. Mahadevakumar, and G.R. Janardhana. 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.
- Tuan, D.T., and T.Q. Thuyet. 1979. Use of azolla in rice production in Vietnam. P. 395-405. In: Nitrogen and Rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Utomo, R., C.T. Noviandi, N. Umami, and A. Permadi. 2019. Effect of composted animal manure as fertilizer on productivity of *Azolla pinnata* grown in Earthen ponds. Online Journal of Biological Sciences. 19(4): 232-236.
- 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 Science. 37: 29-37.
- Wu, S.M., and C.A. Rebeiz. 1985. Chloroplast biogenesis: Molecular structure of chlorophyll b (E489 F666). The Journal of Biological Chemistry. 260: 3632-3664.