

ผลของการหมักตอซังในสภาพแปลงนาต่อการเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำและผลผลิตแทนแดง

Effects of Composting Rice Stubble in Rice Field Condition on Water Quality and Azolla Yields

วินากกร ที่รัก^{1*} และ ศรัณย์ อธิการยานันท์²

Winakon Theerak^{1*} and Sarun Atiganyanun²

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

¹Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum-
Thani 13180

²ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนน
พหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

² National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development, 111 Thailand Science Park,
Phahonyothin Road, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

*Corresponding author: winakon@vru.ac.th

Received: 22 May 2024; Accepted: 4 December 2024; Published: 1 June 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเพาะแทนแดงที่เหมาะสมในสภาพแปลงนาโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลองเลี้ยงแทนแดง จำนวน 18 บ่อ โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 กรรมวิธี ๆ ละ 3 บ่อ ทำการเลี้ยงแทนแดงจำนวน 3 รอบ ๆ ละ 10 วัน แต่ละกรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 น้ำสะอาดไม่เติมธาตุอาหาร (ควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยเคมี 46-0-0 กรรมวิธีที่ 3 ดินนา กรรมวิธีที่ 4 ตอซังข้าวหมัก กรรมวิธีที่ 5 ดินนาเติมปุ๋ย 46-0-0 และกรรมวิธีที่ 6 ดินนาผสมตอซังข้าวหมัก ศึกษาคุณภาพน้ำก่อนและหลังการเพาะแทนแดง ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ pH ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ไนโตรเจนรวม และจุลินทรีย์ของน้ำ ศึกษาปริมาณผลผลิตแทนแดง ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ผลการศึกษาคุณภาพน้ำก่อนการเพาะแทนแดง พบว่า ทุกกรรมวิธีอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กรรมวิธีที่ 6 ค่า pH ต่ำที่สุด ($p<0.05$) กรรมวิธีที่ 5 การนำไฟฟ้าสูงที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 ($p<0.01$) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ กรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 มากที่สุด ($p<0.05$) กรรมวิธีที่ 5 ไนโตรเจนรวมสูงที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 ($p<0.01$) และกรรมวิธีที่ 6 จุลินทรีย์รวมมากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 3 ($p<0.01$) คุณภาพน้ำหลังการเพาะแทนแดง พบว่า ทุกกรรมวิธีอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กรรมวิธีที่ 6 ค่า pH ต่ำที่สุด ($p<0.05$) กรรมวิธีที่ 6 การนำไฟฟ้าสูงที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 5 ($p<0.01$) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ กรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 มากที่สุด ($p<0.05$) กรรมวิธีที่ 5 ไนโตรเจนรวมสูงที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 ($p<0.01$) และกรรมวิธีที่ 6 จุลินทรีย์มากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 4 ($p<0.01$) และปริมาณผลผลิตแทนแดง พบว่า กรรมวิธีที่ 5 น้ำหนัก

สดมากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 ($p<0.01$) และน้ำหนักระหว่างกรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 6 น้ำหนักมากที่สุด ($p<0.01$) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับผลผลิตสดของแหนแดง พบว่า อุณหภูมิ น้ำ ไนโตรเจนรวม การนำไฟฟ้า และจุลินทรีย์รวม ช่วยส่งเสริมทำให้ผลผลิตของแหนแดงเพิ่มขึ้น การวิจัยนี้สรุปได้ว่า กรรมวิธีที่ 5 ที่หมักดินนาและเติมปุ๋ย 46-0-0 ก่อนเพาะแหนแดง ส่งผลให้ผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงมากที่สุด และกรรมวิธีที่ 6 หมักดินนามสต่อซังข้าว ส่งผลให้ผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงมากรองลงมา แต่ทั้งกรรมวิธีที่ 5 และ กรรมวิธีที่ 6 น้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน หากต้องการนำแหนแดงเพาะในแปลงนาปลูกข้าวหรือทำกิจกรรมอื่นทางการเกษตรแบบไม่เผาฟางและต่อซังข้าว กรรมวิธีที่ 6 ก็มีความเหมาะสมมากเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนำไปปรับใช้ในการเพาะแหนแดงของผู้ที่สนใจ

คำสำคัญ: ดินนา; ปุ๋ยเคมี; ต่อซังข้าว; กระบวนการหมัก; แหนแดง

ABSTRACT

The objective of this research is to study appropriate methods for azolla cultivation in rice field conditions. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD). Azolla was grown in 18 pits, comprised of three pits for each of 6 different growth methods. The cultivation was conducted three times, each spanning 10 days. The treatments were as follows. In treatment 1 (control), clean water without added nutrients was used as a growth medium. In treatment 2, 46% urea fertilizer was added to clean water and then used as a growth medium. In treatment 3 and 4, rice field soil and rice stubble compost were used respectively. In treatment 5, rice field soil was mixed with 46% urea fertilizer and used as a growth medium, while, in treatment 6, it was combined with rice stubble composted. Water quality factors, consisting of water temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, total nitrogen content, and microorganism count, were measured before and after azolla cultivation. Azolla yield i.e., fresh and dry weight, were also quantified. The results prior to azolla cultivation showed that water temperature was not different ($p>0.05$) in all treatments. Treatment 6 had the lowest pH ($p<0.05$). Treatment 5 resulted in the highest electrical conductivity and total nitrogen content, followed by treatment 2 ($p<0.01$). Water in treatment 1 and 2 had the highest dissolved oxygen content ($p<0.05$). Treatment 6 led to the highest microorganism count, followed by treatment 3 ($p<0.01$). After the azolla cultivation, water temperature was similar in all treatments ($p>0.05$), while treatment 6 had the lowest pH ($p<0.05$). Treatment 6 also led to the highest electrical conductivity of water, followed by treatment 5 ($p<0.01$). Dissolved oxygen content was highest in treatment 1 and 2 ($p<0.05$). Treatment 5 had the highest nitrogen content, followed by treatment 6 ($p<0.01$). Treatment 6 produced the greatest microorganism count, followed by treatment 4 ($p<0.01$). The fresh weight

of azolla under treatment 5 was highest, followed by treatment 6 ($p < 0.01$). Treatment 5 and 6 also led to the greatest azolla dry weight ($p < 0.01$). Correlation analysis revealed that water temperature, total nitrogen content, electrical conductivity, and microorganism count were positively associated with azolla yields. In conclusion, the treatment with rice field soil and urea fertilizer provided the best fresh weight of azolla. Nevertheless, the treatment with rice stubble compost and rice field soil led to the highest dry weight of azolla similar to the rice field soil and urea fertilizer treatment. Therefore, the use of rice stubble compost is suitable for promoting azolla growth in rice fields. Such use could be an environmentally friendly alternative to burning rice stubbles that farmers often conduct if this use is adapted to each farmer's situation.

Keywords: rice field soil; chemical fertilizer; rice stubble; compost process; azolla

คำนำ

ต่อซึ่งข้าวและฟางข้าวจัดเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการผลิตข้าว แต่ละปีทั้งระบบนาปีและนาปรังมีฟางข้าวเฉลี่ยไม่น้อย 25.45 ล้านตัน เกษตรกรส่วนใหญ่นำไปเลี้ยงปศุสัตว์ แต่ก็ไม่มากนัก และแต่ละปีมีต่อซึ่งข้าวตกในแปลงนาเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 16.90 ล้านตัน ซึ่งการจัดการต่อซึ่งเกษตรกรบางส่วนปล่อยสัตว์เคี้ยวเอื้องลงกินในแปลงนา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการผลิตนาปี แต่ส่วนใหญ่การจัดการฟางข้าวและต่อซึ่งข้าวที่เกษตรกรนิยมทำได้แก่ การไถกลบ การเผา และการทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น วิธีการที่ง่ายและสะดวกของเกษตรกรนิยมจัดการต่อซึ่งข้าว คือ การเผา เนื่องจากทำให้พื้นที่โล่ง ไถดินง่าย ประหยัดเวลาเร่งรอบการผลิตได้ แต่ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และก่อปัญหามลพิษทางอากาศ หากเลือกวิธีการหมักฟางข้าวหรือต่อซึ่งข้าวในรูปแบบไถกลบหรือไม่ไถกลบก็ตาม กระบวนการหมักทำให้ธาตุอาหารในดินและน้ำเพิ่มขึ้น ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืชก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ระยะเวลาการหมักสั้น ๆ 5-7 วัน กระบวนการหมักอาจไม่สมบูรณ์ แต่จุลินทรีย์ธรรมชาติในดินและน้ำจะช่วยย่อยสลายแบบต่อเนื่อง ในการปลดปล่อยธาตุอาหารในระบบ ส่งผลให้พืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง การหมักต่อซึ่งข้าวเกิดขึ้นหลังจากการไถและแปลงนา และเติมน้ำเพื่อหมัก ทำให้ไนโตรเจนจากการหมักเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 1.30 เปอร์เซ็นต์ และธาตุอาหารอื่นด้วย (Yamdeeka et al., 2023) และหากมีการเติมอินทรีย์วัตถุอื่นที่มีธาตุอาหารสูงก็ทำให้ธาตุอาหารในดินและในน้ำสูงตามไปด้วย เช่น ปุ๋ยเคมี มูลสัตว์ ปอเทือง พืชตระกูลถั่ว และพืชน้ำ โดยเฉพาะแหนแดง (Bacon and Cooper, 1985) แหนแดง (*Azolla* spp.) เป็นพืชตระกูลเฟิร์นชนิดลอยน้ำพบมากในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ใบบนของแหนแดง (upper lobe) มีโพรงซึ่งเป็นที่อยู่ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena azollae*) ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียสะสมในแหนแดง ทำให้แหนแดงมีไนโตรเจนสูง (Ahmad and Tariq, 2021) แหนแดงมีไนโตรเจนทั้งหมดเป็นองค์ประกอบสูงถึง 3-4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Wimoonchart et al., 2021) แหนแดงสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยมีผลผลิตได้ 3 ตันต่อไร่ ระยะเวลา 7-10 วัน หากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม แหนแดงเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส

20-28 องศาเซลเซียส ค่า pH ในช่วงกรดอ่อนจนถึงเบสอ่อน ปริมาณออกซิเจนในน้ำสูงไม่น้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร การนำไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่กว้าง 1-6 mS/cm ไนโตรเจนไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ หากไนโตรเจนสูงเกินไปก็เจริญเติบโตดีมากตามไปด้วย (Chartchumni et al., 2022) การจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแหนแดง

การจัดการสภาพแวดล้อมในการผลิตแหนแดงมีความสำคัญมาก (Zakarya et al., 2023) เพื่อให้ได้ผลผลิตแหนแดงมากที่สุดและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อม การใช้สารชีวภาพหรือการผลิตอย่างปลอดภัยมีความสำคัญในการผลิตผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบัน เพื่อมุ่งเน้นความปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคอาหาร เช่น การผลิตข้าวและพืชชนิดอื่น ดังนั้นการเพิ่มธาตุอาหารในดินและในน้ำก่อนการผลิตจึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการหมักดินในแปลงนาร่วมกับตอซังข้าว เพื่อเพิ่มธาตุอาหารและจุลินทรีย์ในระบบนิเวศ ซึ่งเป็นแนวทางที่ยังไม่มีการวิจัยมาก่อนแต่เป็นแนวทางชีวภาพเพื่อการเพิ่มธาตุอาหารแก่แหนแดงที่ส่งเสริมการใช้ของเหลือทางการเกษตร ผู้วิจัยเลือกใช้แหนแดงโดยการเพาะในแปลงนาจำลองที่ผ่านการหมักวิธีต่าง ๆ เพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมในการเพาะแหนแดง ซึ่งศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและผลผลิตแหนแดง หากการผลิตทำให้แหนแดงเพิ่มมากขึ้นได้และไม่กระทบกับคุณภาพน้ำมากนัก เมื่อทำการไถกลบและหมักแหนแดงอีกขั้นตอนก่อนปลูกข้าวหรือพืชอื่น ย่อมส่งผลให้ธาตุอาหารในดินและในน้ำสูง อันส่งผลผลิตต่อความสำเร็จในการผลิตข้าวในระยะต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

การศึกษาเรื่องนี้ทำการศึกษาระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนมีนาคม 2567 วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) ทำการทดลองเลี้ยงแหนแดง จำนวน 18 บ่อ แต่ละบ่อขนาดกว้างxยาวxสูง 50x100x30 เซนติเมตร และควบคุมระดับน้ำให้มีความสูง 20 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยง โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 กรรมวิธี ๆ ละ 3 บ่อ ทำการเลี้ยงแหนแดงจำนวน 3 รอบ ๆ ละ 10 วัน โดยเติมแหนแดงสายพันธุ์อะซอลล่า ไมโครฟิลลล่า (*Azolla microphylla*) จำนวน 30 กรัมต่อตารางเมตร (m²) ในการเลี้ยงแหนแดงแต่ละกรรมวิธีอธิบายดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 น้ำสะอาดไม่เติมธาตุอาหาร (ควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยเคมี 46-0-0

กรรมวิธีที่ 3 ดินนา

กรรมวิธีที่ 4 ตอซังข้าวหมัก

กรรมวิธีที่ 5 ดินนาเติมปุ๋ย 46-0-0

กรรมวิธีที่ 6 ดินนาผสมตอซังข้าวหมัก

2. การเตรียมการบ่อเลี้ยงแหนแดงแต่ละกรรมวิธีการทดลอง

2.1 กรรมวิธีที่ 1 น้ำสะอาดไม่เติมธาตุอาหาร (ควบคุม): เติมน้ำสะอาดไม่มีคลอรีนลงไปในบ่อ พักบ่อไว้ 7 วัน วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนนำแหนแดงลงเลี้ยง

2.2 กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยเคมี 46-0-0: เติมน้ำสะอาดไม่มีคลอรีนลงไปในบ่อ พักบ่อไว้ 7 วัน เติมน้ำปุ๋ยยูเรีย อัตราส่วน 25 กิโลกรัมต่อไร่ วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนนำແຫນດงลงเลี้ยง

2.3 กรรมวิธีที่ 3 ดินนา: ใส่ดินนาในบ่อความสูง 10 เซนติเมตร เติมน้ำสะอาดไม่มีคลอรีนลงไปในบ่อทิ้งไว้ 7 วัน วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนนำແຫນດงลงเลี้ยง

2.4 กรรมวิธีที่ 4 ตอซังข้าวหมัก: เติมน้ำสะอาดไม่มีคลอรีนลงไปในบ่อ ใส่ตอซังข้าวปทุมธานี 1 ที่เก็บเกี่ยวผลผลิตช่วงเดือนมกราคม 2567 แบบไม่สับ ปริมาณ 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร หมักไว้ 7 วัน วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนนำແຫນດงลงเลี้ยง

2.5 กรรมวิธีที่ 5 ดินนาเติมปุ๋ย 46-0-0: ใส่ดินนาในบ่อความสูง 10 เซนติเมตร เติมน้ำสะอาดไม่มีคลอรีนลงไปในบ่อทิ้งไว้ 7 วัน ในวันที่ 7 ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 อัตราส่วน 25 กิโลกรัมต่อไร่ วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนนำແຫນດงลงเลี้ยง

2.6 กรรมวิธีที่ 6 ดินนาผสมตอซังข้าวหมัก: ใส่ดินนาในบ่อความสูง 10 เซนติเมตร และตอซังข้าวปริมาณ 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เติมน้ำสะอาดไม่มีคลอรีนลงไปในบ่อทิ้งไว้ 7 วัน วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนนำແຫນດงลงเลี้ยง

3. การวิเคราะห์คุณภาพดินก่อนการทดลอง

นำดินนาจากพื้นที่ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ตากแห้ง และวิเคราะห์หาค่าทางเคมีและจุลินทรีย์ของดิน ผลการวิเคราะห์แสดงใน Table 1

Table 1 Chemical composition and microorganism counts of soil used in the experiment.

Properties	Values	Methods
pH	7.9	pH meter
EC (mS/cm)	2.14	Conductivity meter
OM (%)	6.32	Walkley and Black
Total N (%)	2.69	Kjeldahl method
Total P ₂ O ₅ (%)	1.05	Colorimetric method
Total K ₂ O (%)	4.11	Flame photometric method
C/N Ratio	10.97	Walkley and Black and Kjeldahl method
Microorganism count (CFU)	57.08	Standard plate count

4. ข้อมูลที่ศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำตามข้อ 2 ในแต่ละกรรมวิธีการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ pH ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) และปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำ

4.2 เก็บข้อมูลผลผลิตแทนแดง ได้แก่ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งหลังการทดลอง ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยวิธีการทำให้แห้งคือ นำแทนแดงอบใน Hot Air Oven ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก

4.3 นำข้อมูลที่ได้หาค่าเฉลี่ยจากนั้นวิเคราะห์หาความแปรปรวน (One way ANOVA) ของข้อมูล โดยใช้วิธีการ Least Significant Difference (LSD) ระหว่างกรรมวิธีการศึกษา และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) ระหว่างคุณภาพน้ำกับน้ำหนักสดของแทนแดง โดยแปรค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ดังนี้ 0.81-1.00 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันมาก, 0.51-0.80 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันปานกลาง, 0.21-0.50 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือต่ำ, 0.01-0.20 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก และ 0.00 ตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กัน (Angsuchoti, n.d.) นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์วิจารณ์ผลและสรุปผลการศึกษา

ผลการทดลอง

การศึกษาเรื่อง “ผลของการหมักต่อซึ่งข้าวในสภาพแปลงนาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและผลผลิตแทนแดง” ผลการทดลองและวิจารณ์ ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาคุณภาพน้ำก่อนและหลังการเพาะแทนแดงในแต่ละกรรมวิธีการศึกษา

การศึกษาคุณภาพน้ำก่อนและหลังการเพาะแทนแดง พบว่า อุณหภูมิน้ำทั้งก่อนและหลังไม่มีความแตกต่างกันทุกกรรมวิธีการทดลอง โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่า pH ของน้ำก่อนการเติมแทนแดงที่มีการเตรียมบ่อเพาะแตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี พบว่า น้ำในบ่อเลี้ยงกรรมวิธีที่ 6 ค่า pH ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 3, 5, 4, 2 และ กรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่า pH หลังการเลี้ยงแทนแดง 10 วัน พบว่า เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการเพาะเลี้ยงแทนแดง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) ก่อนการเพาะแทนแดง พบว่า กรรมวิธีที่ 5 สูงที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 6, 3, 4, 2 และ กรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) หลังจากเพาะแทนแดงที่ 10 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ 6 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) สูงที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 3, 4, 2, 5 และ กรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า ก่อนการเพาะแทนแดงกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 6, 5, 4 และกรรมวิธีที่ 3 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หลังการเพาะแทนแดง พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกรรมวิธีที่ 1 และ กรรมวิธีที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 4, 3, 5 และกรรมวิธีที่ 6 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) ก่อนการเพาะแทนแดง พบว่า กรรมวิธีที่ 5 มากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2, 6, 3, 4 และกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) หลังการเพาะแทนแดง พบว่า กรรมวิธีที่ 5 มากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 6, 2, 3, 4 และกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ปริมาณจุลินทรีย์รวมก่อนการเพาะแทนแดง พบว่า

กรรมวิธีที่ 6 มากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 3, 5, 4, 2 และกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) และปริมาณจุลินทรีย์รวมหลังการเพาะแหนแดง พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 4, 3, 5, 1 และกรรมวิธีที่ 2 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Water quality before and after azolla cultivation.

Treatment	Water temperature (C°)		pH		EC (mS/cm)		DO (mg/L)		Total N (%)		Microorganism count (CFU)	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
1	27.21	26.45	8.23d	7.86c	0.21e	1.33e	4.56a	2.07a	0.03e	2.42e	2d	98d
2	27.42	26.66	7.91c	7.65b	2.38d	3.06c	4.30a	1.93a	8.66b	9.35c	3d	95d
3	27.98	26.02	7.40b	6.91ab	3.17c	3.98b	3.62b	1.39bc	6.38c	9.01c	128b	316c
4	27.60	26.39	7.60b	7.12ab	2.54d	3.17c	3.76b	1.69b	4.76d	7.36d	70c	368b
5	27.85	26.90	7.55b	7.08ab	4.84a	2.54d	3.90ab	1.17c	10.31a	13.44a	117b	294c
6	27.01	26.05	6.98a	6.73a	3.60b	4.84a	3.95ab	0.96d	8.04b	11.90b	269a	432a
p-value	ns	ns	*	*	**	**	*	*	**	**	**	**
SEM	0.15	0.14	0.18	0.18	0.63	0.56	0.16	0.18	1.49	1.57	40.63	53.81
%C.V.	1.35	1.30	5.63	6.07	55.27	37.46	10.20	28.41	57.24	43.22	101.38	52.62
Method	Thermometer		pH meter		Conductivity meter		DO test Kit		Kjeldahl method		Standard plate count	

Note ns: Not statistically significant ($p > 0.05$), *Statistically significant ($p < 0.05$),

** Statistically highly significant ($p < 0.01$), SEM: Standard error of mean, %C.V.: Coefficient of variation, and a-e denotes significant differences.

2. การศึกษาปริมาณผลผลิตแหนแดงในแต่ละกรรมวิธีการศึกษา

การศึกษาปริมาณผลผลิตแหนแดงหลังการเพาะที่ 10 วัน พบว่า น้ำหนักสดของแหนแดงกรรมวิธีที่ 5 มากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 6, 2, 3, 4 และกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) และเมื่อนำแหนแดงสดอบ พบว่า น้ำหนักแห้งกรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 6 มากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2, 3, 4 และกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Fresh and dry weight of azolla per the area of pits.

Treatment	Fresh weight (g/m ²)	Dry weight (g/m ²)
1	567.24f	40.02d
2	1,790.56c	51.78b
3	1,436.02d	49.91bc
4	1,378.11e	48.35c
5	2,169.98a	54.14a
6	1,991.01b	53.70a
p-value	**	**
SEM	234.16	2.13
%C.V.	36.87	10.49

Note **Statistically highly significant ($p < 0.01$), SEM: Standard error of mean, %C.V.: Coefficient of variation, and a-f denotes significant differences.

3. ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำกับน้ำหนัสดของแหนแดง

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำก่อนการเพาะกับน้ำหนัสดของแหนแดง พบว่า อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับน้อย ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับมาก ค่า pH มีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักแหนแดงระดับปานกลาง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักแหนแดงระดับปานกลาง การนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับมาก และจุลินทรีย์รวมมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับปานกลาง ดังแสดงใน Table 4 และใน Table 4 สรุปได้ว่าการเพาะแหนแดงอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีผลต่อผลผลิตแหนแดง ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) การนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) และจุลินทรีย์รวมที่สูงขึ้นในแต่ละกรรมวิธีการศึกษามีผลต่อผลผลิตแหนแดงที่มากขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่า pH ที่ลดลง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ที่น้อยลงในแต่ละกรรมวิธีการศึกษาไม่ได้ส่งผลเสียต่อผลผลิตแหนแดง

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำหลังการเพาะกับน้ำหนัสดของแหนแดง พบว่า อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับน้อย ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับมาก ค่า pH มีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักแหนแดงระดับปานกลาง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักแหนแดงระดับปานกลาง การนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับมาก และจุลินทรีย์รวมมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแหนแดงระดับมาก ดังแสดงใน Table 5 และใน Table 5 สรุปได้ว่าการเพาะแหนแดงอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีผลต่อผลผลิตแหนแดง ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) การนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) และจุลินทรีย์รวมที่สูงขึ้นในแต่ละกรรมวิธีการศึกษามีผลต่อผลผลิตแหนแดงที่มากขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่า pH ที่ลดลง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ที่น้อยลงในแต่ละกรรมวิธีการศึกษาไม่ส่งผลเสียต่อผลผลิตแหนแดง

Table 4 Pearson correlation coefficients of water quality before azolla cultivation and fresh azolla weight.

	Water temperature	Total N	pH	DO	EC	Microorganism count
Total N	0.30					
pH	-0.02	-0.58				
DO	-0.27	-0.49	0.95			
EC	0.44	0.90	-0.74	-0.72		
Microorganism count	-0.16	0.44	-0.95	-0.84	0.63	
Fresh azolla weight	0.22	0.98	-0.67	-0.57	0.92	0.56

Table 5 Pearson correlation coefficients of water quality after azolla cultivation and fresh azolla weight.

	Water temperature	Total N	pH	DO	EC	Microorganism count
Total N	0.15					
pH	0.48	-0.70				
DO	0.27	-0.82	0.92			
EC	-0.02	0.95	-0.87	-0.92		
Microorganism count	-0.51	0.65	-0.97	-0.94	0.82	
Fresh azolla weight	0.22	0.98	-0.62	-0.74	0.90	0.99

วิจารณ์

การศึกษาคุณภาพน้ำในการเพาะเห็ดนางฟ้า พบว่า อุณหภูมิน้ำก่อนและหลังการเพาะเห็ดนางฟ้าไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี ($p>0.05$) เนื่องจากการทดลองนี้อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันจึงทำให้ไม่แตกต่างกัน ค่า pH ก่อนการเพาะเห็ดนางฟ้าทุกกรรมวิธีการทดลองแตกต่างกัน ($p<0.01$) โดยที่กรรมวิธีที่ 6 ค่า pH ต่ำที่สุดและมีความเป็นกรดอ่อน เนื่องจากน้ำสะอาดทั่วไปมีความเป็นกลางจนถึงด่างอ่อน แต่หากมีการหมักหรือมีการย่อยโดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ดินและน้ำจะมีความเป็นกรดมากขึ้น (Carlile, 2008) ดังนั้นกรรมวิธีที่ 6 ทำการหมักดินนาผสมตอซังข้าวระยะเวลา 7 วัน น้ำจึงมีค่าเป็นกรดอ่อน ๆ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) และปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งสองค่านี้เพิ่มมากขึ้นที่สุดในกรรมวิธีที่ 5 ที่ใช้ดินนาหมักร่วมกับการใช้ปุ๋ย 46-0-0 ที่มีธาตุอาหารสูงกว่าตอซังข้าว ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำลงในแต่ละกรรมวิธีที่มีการหมักดิน หมักตอซังข้าวหรือการหมักร่วมกัน เนื่องจากจุลินทรีย์ดึงไปใช้ในกระบวนการช่วยย่อยสลายของเสียในดินหรือฟางข้าวเป็นธาตุอาหาร ดังเห็นได้จากปริมาณจุลินทรีย์รวมเพิ่มมากขึ้นในกรรมวิธีที่มีการหมัก โดยที่กรรมวิธีที่ 6 มากที่สุด จากข้อมูลคุณภาพน้ำก่อนการเพาะเห็ดนางฟ้าเป็นคุณภาพน้ำที่มีการหมัก

ระยะเวลา 7 วัน ในกรรมวิธีที่ 3 ถึง กรรมวิธีที่ 6 จึงทำให้คุณภาพน้ำมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับการศึกษาของ Chumthong and Pakdeechanuan (2019) และ Yamdeeka et al. (2023) กล่าวว่าน้ำหมักชีวภาพหรือกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อุณหภูมิมีผลต่อการย่อยได้ของเศษพืช ในดินและน้ำ กระบวนการย่อยเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติหรือจากการเติมลงไป ส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid) ทำการย่อยโปรตีนและเอมีน (amine) ในระยะแรกก่อนเข้าสู่การย่อย ตามวัฏจักรไนโตรเจนและวัฏจักรการย่อยอื่น ทำให้ในดินและน้ำมีไนโตรเจนและการนำไฟฟ้าสูงขึ้น และสภาวะ นี้ทำให้ pH ต่ำลงตามการเกิดขึ้นของกรดจากกระบวนการย่อย และในการย่อยสลายมีสารอาหารที่เหมาะสมกับ การขยายของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์มากขึ้น หากในน้ำหรือดินมีออกซิเจนน้อยหรือไม่มีการเติมออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงตามจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น

การศึกษานี้คุณภาพน้ำก่อนเพาะเห็ดมีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตเห็ดแดง จากการวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำก่อนการเพาะกับน้ำหนัสดของเห็ดแดง พบว่า อุณหภูมิ น้ำ ปริมาณไนโตรเจนในน้ำ การนำไฟฟ้าของน้ำ และปริมาณจุลินทรีย์ ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเห็ดแดง กล่าวคือ หากอุณหภูมิ น้ำ 20 – 30 องศาเซลเซียส ปริมาณไนโตรเจนที่สูงขึ้นและการนำไฟฟ้าของน้ำที่สูงขึ้นทำให้ เห็ดแดงเจริญเติบโตดี และการที่มีจุลินทรีย์มากขึ้นแสดงว่าการย่อยของเสียให้เป็นธาตุมากขึ้นตามไปด้วย ดัง แสดงใน Table 4 ซึ่งการทดลองนี้ พบว่ากรรมวิธีที่ 5 การหมักดินรวมกับการใช้ปุ๋ย 46-0-0 และกรรมวิธีที่ 6 การหมักดินร่วมกับฟางข้าว ปริมาณผลผลิตเห็ดแดงสดมากที่สุด ดังแสดงใน Table 2 และ Table 3 และ การศึกษานี้ยังพบว่าผลผลิตเห็ดแดงมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำหลังการเพาะกับน้ำหนัสดของเห็ดแดง หลังจากการเพาะ เห็ดแดง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่สูงขึ้นและการนำไฟฟ้าของน้ำที่สูงขึ้น และการที่มีจุลินทรีย์มากขึ้น ดัง Table 5 โดยที่กรรมวิธีที่ 5 การหมักดินรวมกับการใช้ปุ๋ย 46-0-0 และกรรมวิธีที่ 6 การหมักดินร่วมกับฟางข้าว ค่าดังกล่าวสูงขึ้น ดังแสดงใน Table 2 และมีความสัมพันธ์กับปริมาณเห็ดแดงที่มากขึ้น ดัง Table 3 เนื่องจาก คุณภาพน้ำและธาตุอาหารในน้ำและในดินแตกต่างกัน เห็ดแดงนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณ กระบวนการหมักทำให้ธาตุอาหารในน้ำมากขึ้นจากการย่อยของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ที่มากขึ้นแสดงว่าการ ย่อยของเสียเป็นธาตุอาหารได้มากขึ้น และเห็ดแดงไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด ทำให้มี เหลือในปริมาณมากในน้ำ และเห็ดแดงยังมีคุณสมบัติในการดูดซับไนโตรเจนจากอากาศ ส่งผลให้เห็ดแดงที่ตาย บางส่วนส่งผลให้ไนโตรเจนในน้ำมากไปด้วย (Mohsen, 2006) และการศึกษาครั้งนี้อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดแดงอีกด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Chumthong and Pakdeechanuan (2019) Wimoonchart et al. (2021) และ Chartchumni et al. (2022) ที่กล่าวว่า การหมัก ฟางและหมักรวมทั้งต่อซึ่งข้าวสามารถหมักนำมาเป็นน้ำหมักชีวภาพในการผลิตพืชได้ จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก และจำนวนจุลินทรีย์มีความสำคัญในการเปลี่ยนของเสียเป็นธาตุอาหารสำหรับพืชและแปลงกักตุนพืชในน้ำ กระบวนการย่อยสลายของเสียทั้งในดินและในน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช การย่อยสลายที่ทำให้ ธาตุอาหารสูงโดยเฉพาะไนโตรเจนในน้ำและดินสูงย่อมทำให้พืชเจริญเติบโตให้ผลผลิตสูง การหมักหรือการ ทำงานของจุลินทรีย์นอกจากให้ธาตุอาหาร จุลินทรีย์ยังผลิตกรดออกมาด้วย ทำให้น้ำและดินมีความเป็นกรด

เพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำที่มีความเป็นกรดอ่อน ๆ ในช่วง pH 6.0-6.9 พืชจะเจริญเติบโตดี (Lamont et al., 2017) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชและการขยายตัวของจุลินทรีย์กลุ่มใช้ออกซิเจน หากมีพืชน้ำมากและจุลินทรีย์มากแสดงว่าพืชและจุลินทรีย์น้ำไปใช้ ดังนั้นการเลี้ยงแหนแดงถ้าสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงเหมาะสมแหนแดงเจริญเติบโตดีย่อมส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงตามไปด้วย แต่ก็ไม่กระทบกับการเจริญเติบโตของแหนแดง เนื่องจากแหนแดงได้รับออกซิเจนสองทางคือทางน้ำและทางอากาศ (Devi et al., 2014) ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารในน้ำที่เหมาะสมคือการจัดการสภาพแวดล้อมที่ดีย่อมมีความสัมพันธ์ทำให้ผลผลิตแหนแดงมากตามไปด้วยเช่นกัน

สรุป

การศึกษาเรื่องผลของการหมักฟางในสภาพแปลงนาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและผลผลิตแหนแดง โดยใช้แหนแดงสายพันธุ์อะซอลลา ไมโครฟิลลา (*Azolla microphylla*) ในการทดลอง สรุปได้ว่าการเพาะแหนแดงอุณหภูมิ น้ำมีผลแต่ไม่ส่งผลมากเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ และปริมาณจุลินทรีย์ หากมีมากผลผลิตแหนแดงก็มากตามไปด้วย ดังนั้นการเพาะแหนแดงในดินนาที่มีการเติมปุ๋ย 46-0-0 และการใช้ดินนาผสมฟางข้าวและหมักก่อนเพาะแหนแดง แหนแดงจึงมีผลผลิตสูงที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน และหลังการเพาะแหนแดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ปริมาณไนโตรเจนในน้ำ และปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเพิ่มขึ้น หากแนะนำให้เกษตรกรนำแหนแดงไปเพาะในนาข้าวไม่ควรเผาฟางควรหมักฟางก่อนเพาะแหนแดงที่จะเป็นปุ๋ยในการผลิตข้าวต่อไป หากในสภาพนาไม่มีฟางสามารถใช้ปุ๋ย 46-0-0 รวมด้วยได้แต่อาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นได้ ในกรณีที่ช่วยลดต้นทุนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแนะนำให้หมักฟางในนา ก่อนเพาะแหนแดง

เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, N. and N. Tariq. 2021. *Azolla* as Waste Decomposer and Bio-fertilizer: A Review. J. Appl. Plant. Sci. 2(1): 108-116.
- Angsuchoti, S. n.d. Techniques for Analysis of Correlation between Variables. Available Source:<https://www.stou.ac.th/offices/ore/info/cae/uploads/pdf/636366560441132172.pdf>, March 4, 2023. (in Thai)
- Bacon, P. and J. Cooper. 1985. Effect of rice stubble and nitrogen fertilizer management techniques on yield of wheat sown after rice. *Field Crops Res.* 10: 241-250.
- Carlile, W.R. 2008. The use of composted materials in growing media. *Acta Hort.* 779: 321-328
- Chartchumni, B., S. Kumla, S. Somsak and J. Wongjunda. 2022. Climbing perch culture wastewater treatment with *Azolla microphylla*. *Khon Kaen Agric. J.* 50(6): 1567-1579. (in Thai)

- Chumthong, A. and P. Pakdeechanuan. 2019. Effects of Bioextract on Decomposition of Rice Straw and Growth of Local Rice Variety Ruang Ree. *Songklanakarin J. Plant Sci.* 6(1): 82-90. (in Thai)
- Devi, M.K., W.N. Singh, W.R.C. Singh, H.B. Singh and N.M. Singh. 2014. Determination of the ability of Azolla as an agent of bioremediation. *Eur. J. Exp. Biol.* 4(4): 52-56.
- Lamont, J.R., O. Wilkins, M. Bywater-Ekegärd and D.L. Smith. 2017. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production. *Soil. Biol. Biochem.* 111: 1-9.
- Mohsen, A-T. 2006. Effect of Free-Floating Macrophyte, Azolla pinnata on Water Physico-Chemistry, Primary Productivity, and the Production of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), and Common Carp, *Cyprinus carpio* L., in Fertilized Earthen Ponds. *J. Appl. Aquaculture.* 18(1): 21-24.
- Wimoonchart, P., P. Chutimanukul and O. Thepsilvisut. 2021. Effect of Cow and Pig Manure on Growth and Yield of Azolla microphylla. *Khon Kaen Agric. J.* 49(6): 1364–1374. (in Thai)
- Yamdeeka, C., P. Nakayan, S. Konsaen, P. Areesrisom and W. Nilawonk. 2023. Influence of Bio-extracts on Plant Nutrient Release from Rice Straw. *Maejo J. Agric. Prod.* 5(2): 67–78. (in Thai)
- Zakarya, I. A., N.A. Nasir, N. Razali, M.H. Ibrahim and M. Baboc. 2023. Assessment of Water Quality and Nutrient Uptake of Azolla in Different Fertilizers. *IOP Conf. Ser.L Earth Environ. Sci.* 1216(1): 012039.