

การใช้แทนแ่งแห้งเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีในการผลิตผักสลัดคอส

Substitution of Chemical Fertilizer with Dried Azolla on Cos Lettuce Production

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต¹ ประไพ ทองระอา¹ ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย¹

วนิดา โนบรรเทา¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹

Sirilak Kaewsuralikhit¹ Praphai Thongra-ar¹ Nattanan Krailertrattanachai¹

Wanida Nobuntou¹ Suphakarn Luanmanee¹

บทคัดย่อ

ปุ๋ยเคมีมีราคาแพงต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ จำเป็นต้องหาแหล่งธาตุอาหารทดแทนเพื่อให้เกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้ แทนแ่งเป็นทรัพยากรชีวภาพที่มีศักยภาพให้ธาตุอาหารพืชสูง แต่การนำแทนแ่งสดไปใช้ในการผลิตพืชผักยังมีข้อจำกัดเนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง จึงดำเนินการวิจัยและพัฒนาการใช้แทนแ่งแห้งในการจัดการธาตุอาหารพืชเพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพืชผักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารของแทนแ่งแห้งโดยการบ่มในดินในสภาพห้องปฏิบัติการ และศึกษาผลของการใช้แทนแ่งแห้งต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสในสภาพเรือนทดลอง และในแปลงทดลอง พบว่า แทนแ่งแห้งสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 36 กรัมต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดหลังบ่ม 42 วัน และมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุด 12 กรัมต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดต่อวันภายใน 1 วันหลังบ่ม สำหรับการปลดปล่อยฟอสฟอรัส พบว่า เกิดขึ้นสูงสุด 15 กรัมต่อ 100 กรัมฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังบ่ม 35 วัน และมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุด 12 กรัมต่อ 100 กรัมฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อวันภายใน 1 วันหลังบ่ม ส่วนการปลดปล่อยโพแทสเซียม พบว่า เกิดขึ้นสูงสุด 33 กรัม ต่อ 100 กรัมโพแทสเซียมทั้งหมดภายใน 1 วันหลังการบ่ม ซึ่งเป็นอัตราการปลดปล่อยสูงสุด เมื่อทำการศึกษาผลของแทนแ่งแห้งต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสในเรือนทดลอง พบว่า การใส่แทนแ่งแห้ง 35 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผักสลัดคอสมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 736 เปอร์เซ็นต์ และ 286 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่แทนแ่งแห้ง ส่วนการทดลองในพื้นที่ปลูกผักสลัดคอสจังหวัดนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2563 พบว่า การใส่แทนแ่งแห้ง 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 69 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมี 9.4 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร และเมื่อใช้แทนแ่งแห้ง 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตรร่วมกับปุ๋ยเคมี 7.1 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร พบว่า ผักสลัดคอสให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงสุด 115 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: แทนแ่งแห้ง, ผักสลัดคอส, ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

¹Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture

ABSTRACT

Chemical fertilizers are expensive because they have to rely on imports from abroad. Therefore, it is necessary to find an alternative plant nutrient source to substitute chemical fertilizers for farmers in order to be self-sufficient. Azolla is a biological resource with a high potential for plant nutrients. However, the use of fresh azolla in vegetable production is still limited due to its high water content. Therefore, research and development on the use of dried azolla in plant nutrient management have been conducted to make it possible to apply it efficiently to vegetables. The release of nutrients from dried azolla was studied by incubating it in soil under laboratory conditions. The effect of using dried azolla on the growth of cos lettuce was also studied in a greenhouse and in a field experiment. It was found that dried azolla can release up to 36 grams of nitrogen per 100 grams of total nitrogen after 42 days of incubation, and the maximum release rate was 12 grams of nitrogen per 100 grams of total nitrogen per day within a day after incubation. For phosphorus release, it was found to occur up to 15 grams per 100 grams of total phosphorus after 35 days of incubation, and the maximum release rate was 12 grams of phosphorus per 100 grams of total phosphorus per day within a day after incubation. The release of potassium was found to occur up to 33 grams per 100 grams of total potassium within a day of incubation, which is the highest release rate. When the effect of dried azolla on the growth of cos lettuce was studied in a greenhouse, it was found that the maximum growth of cos lettuce was obtained when 35 grams of dried azolla were applied per kilogram of soil. The fresh weight and dry weight of cos lettuce increased by 736 and 286%, respectively, compared with the treatment without dried azolla. The field experiment in Nakhon Ratchasima province was carried out in 2023. It was found that applying 0.5 kilograms of dried azolla per square meter increased the yield by 69% compared with the method using a chemical fertilizer of 9.4 grams of nitrogen per square meter. When 0.5 kilograms of dried azolla per square meter was combined with chemical fertilizer of 7.1 grams of nitrogen per square meter, the maximum yield increase of cos lettuce was 115%.

Keywords: dried azolla, cos lettuce, chemical fertilizer substitution

คำนำ

ปัจจุบันปุ๋ยเคมีมีราคาแพง เนื่องจากประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีปีละ 5.1 ล้านตัน ซึ่งในปี พ.ศ. 2565 ราคานำเข้าปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2563-2564 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ทำให้เกษตรกรต้องแบกรับภาระต้นทุนปุ๋ยเคมีที่สูงขึ้น และอาจลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารของประเทศได้ เนื่องจากปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชให้ได้ผลผลิตสูง ดังนั้นเพื่อให้เกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้ จึงจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรชีวภาพที่มีภายในประเทศมาใช้ในการจัดการธาตุอาหารพืชทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี โดยแหนแดง (*Azolla* sp.) เป็นทรัพยากรชีวภาพชนิดหนึ่งที่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้อาศัยอยู่ภายในโพรงใบ ทำหน้าที่เปรียบเสมือนโรงงานผลิตปุ๋ยไนโตรเจน และเป็นแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนที่เกษตรกรสามารถผลิตใช้เองได้ง่าย ใช้ต้นทุนน้อย และสามารถผลิตได้ต่อเนื่อง

แหนแดง (*A. microphylla*) มีศักยภาพในการผลิตชีวมวลสูง สามารถเพิ่มปริมาณน้ำหนักรวดเร็วถึง 40 เท่า ภายในระยะเวลาเพียง 2 สัปดาห์ (Jumadi *et al.*, 2014) และสามารถผลิตได้หลายรอบต่อปี ประกอบกับแหนแดงมี C/N ratio เฉลี่ย 9 – 13 (Watanabe *et al.*, 1980) จึงสามารถเน่าสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้อย่างรวดเร็ว (Jumadi *et al.*, 2014) ท้นต่อความต้องการของพืชรับประทานใบซึ่งเป็นพืชอายุสั้น นอกจากนี้แหนแดงยังประกอบด้วยสารเพิ่มประสิทธิภาพพืช เช่น กรดอะมิโนต่างๆ และสารคล้ายฮอร์โมนพืช (El-Araby *et al.*, 2010) จึงช่วยเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต และยังช่วยปรับปรุงบำรุงดินในระยะยาวทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น (Subedi and Shrestha, 2015) เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารในการผลิตพืชผักรับประทานใบให้มีคุณภาพได้มาตรฐานทั้งในระบบการผลิตพืชอินทรีย์และการผลิตพืชตามระบบเกษตรดีที่เหมาะสม (good agricultural practice, GAP) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแหนแดงแห้งสำหรับเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชในการผลิตผักสลัดคอส เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผักรับประทานใบชนิดอื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเป้าประสงค์ของการสร้างเศรษฐกิจในแนวทาง BCG ทั้ง ในด้าน คือ เศรษฐกิจชีวภาพ (bioeconomy) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างคุ้มค่า โดยแหนแดงสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่เกษตรกรสามารถสร้างขึ้นเองได้ และเศรษฐกิจสีเขียว (green economy) มุ่งแก้ไขปัญหาหมอกพิษ แหนแดงเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีศักยภาพในการกักเก็บธาตุอาหาร ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารหรือปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ ลดการถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ เป็นการลดผลกระทบต่อโลกอย่างยั่งยืน ด้วยการเกษตรสร้างมูลค่า เกษตรชีวภาพ และเกษตรปลอดภัย สู่คุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมແຫນແຕงແຫ່ງ

เพาะเลี้ยงແຫນແຕงชนิด *A. microphylla* โดยนำแม่พันธุ์ແຫນແຕงจากบ่อพันธุ์มาขยายเพิ่มปริมาณในกระชังที่มีน้ำลึกประมาณ 1 เมตร หว่านแม่พันธุ์ແຫນແຕงในอัตรา 300–450 กรัมต่อตารางเมตร จากนั้นปล่อยให้ແຫນແຕงเจริญเติบโตเต็มที่ มีขนาดลำต้นใหญ่และหนาต้นเริ่มขึ้นเบียดซ้อนกันแน่นผิวน้ำ ใช้เวลาหลังหว่านแม่พันธุ์ประมาณ 20 วัน (Figure 1A) ตักແຫນແຕงจากกระชังขึ้นมาตากให้แห้ง โดยการเกลี่ยແຫນແຕงบางๆ ให้กระจายบนพื้น (Figure 1B และ C) หลังจากนั้นรวบรวมແຫນແຕงใส่กระสอบนำไปเก็บในที่ร่ม สภาพแห้งและสามารถระบายอากาศได้ดี



Figure 1 Azolla cultured in pond (A), drying azolla (B) and dried azolla (C)

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของແຫນແຕงແຫ່ງ

สุ่มเก็บตัวอย่างແຫນແຕงແຫ່ງ จำนวน 0.5 กิโลกรัม นำมาอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสจนแห้ง บดให้ละเอียดแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี micro Kjeldahl ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดผสม $\text{HClO}_4:\text{HNO}_3$ (1:2) และวัดปริมาณโดยวิธี Molybdo-vanadate ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดโดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดผสม $\text{HClO}_4:\text{HNO}_3$ (1:2) และวัดปริมาณโดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) และวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน โดยวิธี Walkley and Black (Walkley and Black, 1947)

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินในแปลงทดลองที่สถานีวิจัยพืชสวนปากช่อง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา แบบผสมรวม (composite samples) ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธี Walkley and Black ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยวิธีการสกัดดินด้วย NH_4OAc pH 7 วัดด้วยเครื่อง AAS พบว่า ดินเป็นกลางมีค่า pH 7.23 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง 2.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก 277 และ 401 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงและปานกลาง 2,165 และ 236 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4. การปลดปล่อยธาตุอาหารของແໜແດງແຫ້ງ

เตรียมตัวอย่างโดยการชั่งดินที่บดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ใส่ในขวดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ขวดละ 10 กรัม จำนวน 3 ขวด ใส่ແໜແດງແຫ້ງบดละเอียด 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับความชื้นให้ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ของความจุ้มน้ำของดิน (water holding capacity) ผสมดินคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปิดฝาขวดที่บรรจุดินและปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำนำไปบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 1 3 7 14 21 28 35 42 56 70 84 98 112 และ 126 วัน เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรท ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารและระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม รูปแบบการปลดปล่อยธาตุอาหาร และอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารแก่พืช

5. ผลของແໜແດງແຫ້ງต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสในโรงเรือน

วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block จำนวน 9 กรรมวิธี 5 ขวด ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 (T1) ไม่ใส่ແໜແດງແຫ້ງ (กรรมวิธีควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 (T2) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 5 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 3 (T3) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 10 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 4 (T4) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 15 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 5 (T5) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 20 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 6 (T6) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 25 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 7 (T7) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 30 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 8 (T8) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 35 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 9 (T9) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ 40 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

ดินจากแปลงทดลองที่สถานีวิจัยพืชสวนปากช่อง นำมาตากให้แห้ง ย่อยและผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ใส่ແໜແດງແຫ້ງในปริมาณตามกรรมวิธีที่ 2 – 9 ผสมคลุกเคล้ากับดินที่เตรียมไว้ให้เข้ากันดี บรรจุลงในถุงปลูกถุงละ 5 กิโลกรัม ย้ายกล้าผักสลัดคอสอายุ 15 วันลงปลูกในถุงปลูก เมื่อผักสลัดคอสอายุ 45 วัน บันทึกข้อมูลน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของลำต้นส่วนเหนือดิน นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

6. ทดสอบการใช้ແໜແດງແຫ້ງร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อผลผลิตของผักสลัดคอสในแปลงทดลอง

ดำเนินการที่สถานีวิจัยพืชสวนปากช่อง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 โดยใส่ปุ๋ยอัตราแนะนำสำหรับผักใบรับประทานใบ (กรมวิชาการเกษตร, 2552) ตามค่าวิเคราะห์ดินในข้อ 3 คือ ปุ๋ยไนโตรเจน 15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 20 กรัมต่อตารางเมตร โดยไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทช เนื่องจากดินมีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่ในระดับเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block จำนวน 10 กรรมวิธี 3 ขวด ได้แก่

- กรรมวิธีที่ 1 (T1) ไม่ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
- กรรมวิธีที่ 2 (T2) ไม่ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 5 กรัมต่อตารางเมตร
- กรรมวิธีที่ 3 (T3) ไม่ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 10 กรัมต่อตารางเมตร
- กรรมวิธีที่ 4 (T4) ไม่ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 15 กรัมต่อตารางเมตร
- กรรมวิธีที่ 5 (T5) ไม่ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 20 กรัมต่อตารางเมตร
- กรรมวิธีที่ 6 (T6) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
- กรรมวิธีที่ 7 (T7) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 5 กรัมต่อตารางเมตร
- กรรมวิธีที่ 8 (T8) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 10 กรัมต่อตารางเมตร
- กรรมวิธีที่ 9 (T9) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 15 กรัมต่อตารางเมตร
- กรรมวิธีที่ 10 (T10) ใส่ແໜແດງແຫ້ງ+ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 20 กรัมต่อตารางเมตร

ในการเตรียมแปลงทดลองกรรมวิธีที่ใส่ແໜແດງແຫ້ງ ทำการใส่ແໜແດງແຫ້ງอัตรา 0.5 กิโลกรัม ต่อตารางเมตร แล้วสับกลบ ปลุกผักสลัดคอสมอสในพื้นที่แปลงย่อย ขนาด 1.5×3 เมตร ระยะปลูก 0.25×0.25 เมตร หลังจากย้ายกล้าลงปลูกในแปลง 10 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตราต่างๆ ตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยแบ่งใส่จำนวน 2 ครั้ง ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทช ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อผักสลัดคอสมอสมีอายุ 45 วัน โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 1×1.25 เมตร บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดของผลผลิต วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT รวมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจาก อัตราส่วนระหว่างมูลค่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้นต่อมูลค่าต้นทุนของปุ๋ย (value cost ratio: VCR) ถ้า $VCR > 1$ แสดงว่ากรรมวิธีทดสอบมีผลประโยชน์มากกว่ากรรมวิธีที่เปรียบเทียบ ถ้า $VCR < 1$ แสดงว่ากรรมวิธีทดสอบมีผลประโยชน์น้อยกว่าต้นทุนกรรมวิธีเปรียบเทียบ ถ้า $VCR = 1$ แสดงว่ากรรมวิธีทดสอบมีผลประโยชน์เท่ากับต้นทุนกรรมวิธีเปรียบเทียบ ซึ่งจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง รายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ແໜແດງແຫ້ງต่อรายจ่ายจากการใช้ปุ๋ย หากค่า VCR มากกว่า 2 แสดงว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Sommer *et al.*, 2013)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของແໜແດງ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของແໜແດງที่ใช้ในการศึกษา พบว่า มีปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด 4.58 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน 9.95 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.64 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 5.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด 2.59 เปอร์เซ็นต์และมีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด 0.39 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) สอดคล้องกับ Watanabe and Ramirez (1990) รายงานว่าจากการเก็บตัวอย่างແໜແດງ 5 ชนิด ทั้งหมด 232 ตัวอย่าง ใน 11 เขต พบว่า แໜແດງมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจน 4.5 เปอร์เซ็นต์ โดย *A. microphylla* มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด 4.5 เปอร์เซ็นต์ และสายพันธุ์ *A. pinnata* var *pinnata* มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 2.8 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าແໜແດງในจังหวัด Tarlac และ Sultan Kudarat มีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจน 6.5 และ 6.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Table 1 Chemical composition of dried azolla

Organic carbon (%)	Total-N (%)	C/N ratio	Total-P (%)	Total-K (%)	Total-Ca (%)	Total-Mg (%)
45.6	4.58	9.95	0.64	5.08	2.59	0.39

2. การปลดปล่อยธาตุอาหารของແຫນແຕງແຫ້ງ

ແຫນແຕງແຫ້ງสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 36 กรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดหลังบ่ม 42 วัน และมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุด 12 กรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดต่อวัน ภายใน 1 วันหลังบ่ม เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมากับระยะเวลาบ่ม พบว่า มีรูปแบบการปลดปล่อยไนโตรเจนของແຫນແຕງແຫ້ງ (y) ที่เหมาะสม คือ $y = -0.0031x^2 + 0.5095x + 17.087$ เมื่อระยะเวลาหลังบ่ม (x) เปลี่ยนแปลงไป 1 วัน การปลดปล่อยไนโตรเจนของແຫນແຕງແຫ້ງ จะปลดปล่อยออกมา 17.5934 กรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด และเมื่อระยะเวลาบ่ม ผ่านไปสักระยะหนึ่งปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจะค่อนข้างคงที่และจะลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มผ่านไปนานขึ้น (Figure 2A) ส่วนอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงในระยะเวลาแรก แล้วลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อบ่มผ่านไปไม่นาน และค่อนข้างคงที่ในอัตรา 0.3 - 1.4 กรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดต่อวัน ตั้งแต่ 14 วันหลังการบ่ม โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยไนโตรเจน (y) และระยะเวลาในการบ่ม (x) ดังสมการ $y = 13.637x^{-0.779}$ - (Figure 2B)

สำหรับการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของແຫນແຕງແຫ້ງ พบว่า เกิดขึ้นสูงสุด 15 กรัมฟอสฟอรัสต่อ 100 กรัมของฟอสฟอรัสทั้งหมด หลังบ่ม 35 วัน สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกมา (y) และระยะเวลาบ่ม (x) ดังสมการ $y = -0.0006x^2 + 0.1155x + 9.863$ โดยระยะเวลาหลังบ่มเปลี่ยนแปลงไป 1 วัน การปลดปล่อยฟอสฟอรัสของແຫນແຕງແຫ້ງ จะปลดปล่อยออกมา 9.863 กรัมฟอสฟอรัสต่อ 100 กรัมของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Figure 3A) ซึ่งการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของແຫນແຕງແຫ້ງมีแนวโน้มของพฤติกรรมที่ปลดปล่อยเช่นเดียวกับไนโตรเจน คือ เพิ่มขึ้นในระยะแรก จากนั้นจะปลดปล่อยออกมาคงที่สักระยะหนึ่งและค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป การวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส พบว่า อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส สูงสุด 12 กรัมฟอสฟอรัสต่อ 100 กรัมของฟอสฟอรัสทั้งหมด ใน 1 วันหลังบ่ม จากนั้นอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะลดลงและค่อนข้างคงที่ในอัตรา 0.1-0.8 กรัมฟอสฟอรัสต่อ 100 กรัม ของฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อวัน ตั้งแต่ 14 วันหลังการบ่ม โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยฟอสฟอรัส (y) และระยะเวลาในการบ่ม (x) ดังนี้ $y = 31.111x^{-1.007}$ (Figure 3B)

ส่วนการปลดปล่อยโพแทสเซียม พบว่า เกิดขึ้นสูงสุด 33 กรัมโพแทสเซียมต่อ 100 กรัมโพแทสเซียมทั้งหมดภายใน 1 วันหลังการบ่ม (Figure 4 A) ซึ่งเป็นอัตราการปลดปล่อยสูงสุด จากนั้นอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมจะลดลงและค่อนข้างคงที่ในอัตรา 0.2 - 2.2 กรัมโพแทสเซียมต่อ 100 กรัมของโพแทสเซียมทั้งหมดต่อวัน ตั้งแต่ 14 วันหลังการบ่ม (Figure 4 B) ปริมาณการปลดปล่อย

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่อยๆ ปลดปล่อยในระยะแรก และคงที่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ในขณะที่การปลดปล่อยโพแทสเซียมปลดปล่อยออกมาได้มากตั้งแต่ระยะแรกและปลดปล่อยคงที่จนถึงระยะสุดท้ายของการบ่ม ทั้งนี้เนื่องจากโพแทสเซียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ง่ายทำให้ปลดปล่อยออกมาได้ง่าย ในขณะที่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์ซึ่งต้องผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Wang *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2021)

นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบของการปลดปล่อยไนโตรเจนของແຫຼ່ງແຕ່ງແຫຼ່ງນັ້ນແຕກຕ່າງຈາກແຫຼ່ງແຕ່ງສດໂດຍຈາກการศึกษาของ Ito and Watanabe (1985) พบว่า เมื่อโถกลบແຫຼ່ງແຕ່ງສດลงไปในดินนาขังน้ำແຫຼ່ງແຕ່ງຈະปลดปล่อยไนโตรเจนสูงสุดในเวลา 24 วัน ซึ่งสอดคล้องกับ ประพิศและพิชิต (2536) ที่ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของແຫຼ່ງແຕ່ງສດในดินขังน้ำ แຫຼ່ງແຕ່ງปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในปริมาณค่อนข้างสูงในสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 จากนั้นปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจะลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากสภาพการบ่มที่ไม่มีการขังน้ำและແຫຼ່ງແຕ່ງແຫຼ່ງมีการดูดซับน้ำได้ช้า สอดคล้องกับ ศิริลักษณ์และคณะ (2558) รายงานว่าແຫຼ່ງແຕ່ງແຫຼ່ງมีความสามารถในการซึมผ่านน้ำได้น้อย ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นช้ากว่าจึงทำให้รูปแบบการปลดปล่อยไนโตรเจนในระยะเริ่มต้นช้ากว่าในແຫຼ່ງແຕ່ງສດ

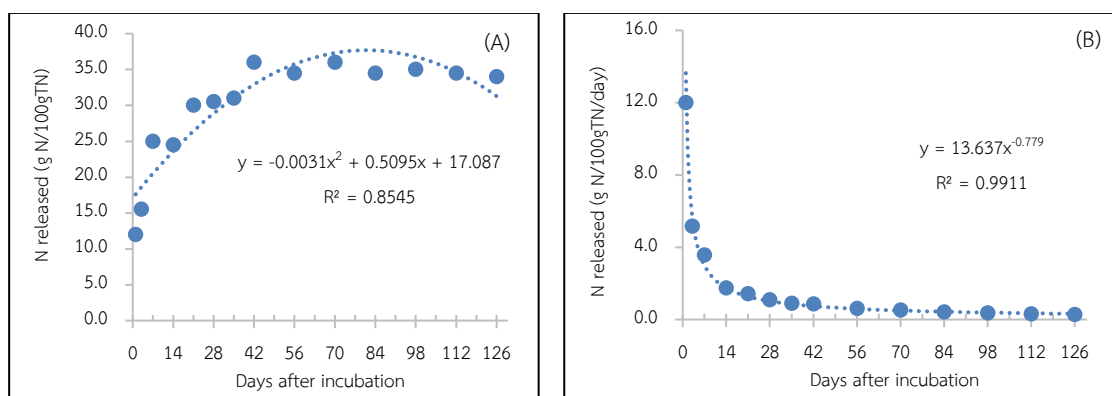


Figure 2 Nitrogen released (A) and mineralization rate (B) from dried azolla after incubation in soil

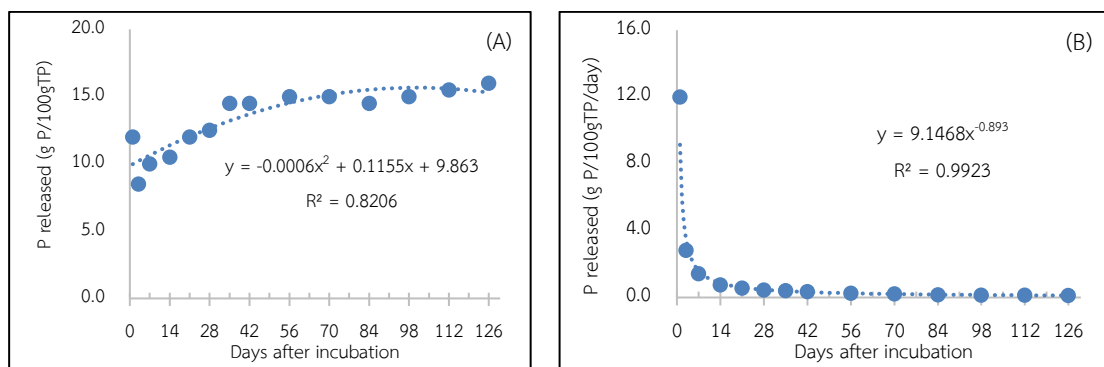


Figure 3 Phosphorus released (A) and mineralization rate (B) from dried azolla after incubation in soil

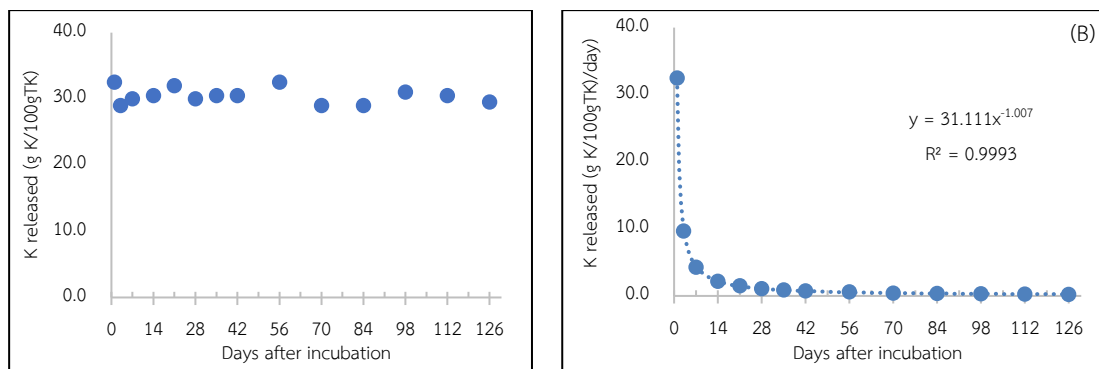


Figure 4 Potassium released (A) and mineralization rate (B) from dried azolla after incubation in soil

3. ผลของแหนแดงแห้งต่อน้ำหนักสดและแห้งของผักสลัดคอสมิ์ในโรงเรือน

การใส่แหนแดงแห้งอัตราต่างๆ ตั้งแต่ 15 - 35 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ผักสลัดคอสมิ์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่แหนแดงแห้งซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม โดยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งระหว่าง 49.44 - 119.15 และ 4.31 - 8.72 กรัมต่อดิน ตามลำดับ และพบว่าการใช้แหนแดงแห้งที่อัตรา 35 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ต้นผักสลัดคอสมิ์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผักสลัดคอสมิ์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม 736 และ 286 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในทางกลับกัน หากใส่แหนแดงเพิ่มขึ้นถึงอัตรา 40 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม พบว่า ผักสลัดคอสมิ์มีการเจริญเติบโตลดลง (Table 2, Figure 5) ทั้งนี้เนื่องจากการใส่แหนแดงแห้งในอัตราดังกล่าวส่งผลทำให้สมบัติทางกายภาพของดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสมิ์ ดินมีการอุ้มน้ำไว้มากเกินไป สอดคล้องกับ ศิริลักษณ์ และคณะ (2558) ที่รายงานว่า แหนแดงแห้งมีความหนาแน่นรวม 0.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้สามารถอุ้มน้ำได้มาก หากใส่แหนแดงแห้งในปริมาณมากจะทำให้สภาพดินปลูกแฉะเกินไป

Table 2 Effects of azolla application on fresh weight of cos lettuce at 45 days after sowing

Azolla application rate	Fresh weight (fwt.) (g/plant)	% fwt. increase as compared to T1	Dry weight (dwt.) (g/plant)	% dwt. increase as compared to T1
T1: Control	14.25 d	-	2.26 d	-
T2: 5 g/kg soil	18.14 d	27	2.68 d	19
T3: 10 g/kg soil	28.26 d	98	2.93 d	30
T4: 15 g/kg soil	55.26 c	288	4.55 cd	101
T5: 20 g/kg soil	49.44 c	246	4.31 cd	91
T6: 25 g/kg soil	61.53 c	331	5.74 bc	154
T7: 30 g/kg soil	89.97 b	531	7.50 ab	232
T8: 35 g/kg soil	119.15 a	736	8.72 a	286
T9: 40 g/kg soil	107.07 ab	651	7.18 ab	218
Average	60.34		5.10	
CV.(%)	10.26		15.60	

Means in a same column followed by different letters are significantly different at $p \leq 0.05$ by DMRT



Figure 5 Effects of dried azolla application on growth of cos lettuce at 45 days after sowing

4. ผลทดสอบการใช้แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อผลผลิตของผักสลัดคอสในแปลงทดลอง

ผลการปลูกผักสลัดคอสเมื่อใช้แหนแดงแห้งอย่างเดียว อัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ให้ผลผลิตผักสลัดคอสสูงกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียอัตรา 20 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้ผลผลิต 2,603 กิโลกรัมต่อไร่ หรือให้ผลผลิตมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราแนะนำ 69 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องจากแหนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง และมีธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่แคบ (9.95) ทำให้สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่ผักสลัดคอสซึ่งเป็นพืชอายุสั้นได้ทันกับความต้องการ นอกจากนี้แหนแดงยังมีสารคล้ายฮอร์โมนพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น IAA, ไซโตไคนิน และจิบเบอเรลลิน (El-Araby *et al.*, 2010; ศิริลักษณ์, 2558) และกรดอะมิโนที่ทำหน้าที่เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งทำให้พืชมีศักยภาพในการเจริญเติบโตหรือพัฒนามากขึ้นทั้งส่วนรากและส่วนเหนือดิน และสามารถดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น (ยงยุทธ, 2557)

ดังนั้น แหนแดงแห้งสามารถใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารทดแทนปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตพืชผักระบบอินทรีย์ได้ เนื่องจากแหนแดงแห้ง 1 กิโลกรัม สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนให้พืชได้ใช้ประโยชน์ประมาณ 16 กรัม ในระยะแรก แต่ก็ยังสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาได้เรื่อย ๆ ทุกวัน เป็นระยะเวลายาวนาน ถึงแม้ว่าปริมาณที่ปลดปล่อยจะไม่มากก็ตาม (Figure 2) นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ที่เป็นประโยชน์กับพืช รวมถึงเพิ่มอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้น ในขณะที่ปุ๋ยยูเรีย 20 กรัม มีไนโตรเจน 9.4 กรัม เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ เมื่อใช้แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 5 10 15 และ 20 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าทุกกรรมวิธีทำให้ผลผลิตผักสลัดคอสเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวทุกอัตราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้ผลผลิตเท่ากับ 2,686 2,765 3,304 และ 3,264 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ หรือให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยยูเรียอัตรา 20 กรัมต่อตารางเมตร เฉลี่ย 75 80 115 และ 112 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้น การใช้แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมีจึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ผลิตพืชผักตามมาตรฐานการผลิตพืช GAP (Table 3)

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้แหนแดงแห้งในการผลิตผักสลัดคอส พบว่า มีค่า VCR อยู่ระหว่าง 68.88-87.62 เมื่อเทียบกับการมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (อัตรา 20 กรัมต่อตารางเมตร) หมายถึงกรรมวิธีที่ใส่แหนแดง (กรรมวิธีที่ 6-9) มีประสิทธิภาพการลงทุนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำอย่างมาก การใส่แหนแดงแห้งอย่างเดียว ให้ค่า VCR สูงกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา

แนะนำ 81.14 เท่า และการใส่แหนดแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 15 กรัมต่อตารางเมตรให้ค่า VCR สูงที่สุด 87.62 แสดงว่าประสิทธิภาพของการใช้เงินลงทุนสูงสุด (Table 3) ซึ่งพบว่า แหนดแดงแห้ง 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำถึง 69 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ VCR จึงให้ค่าที่สูง เหมาะสมในการที่จะมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้ แหนดแดงจึงมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นปัจจัยการผลิตที่ช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชผักรับประทานใบ โดยเกษตรกรสามารถผลิตแหนดแดงได้จากการใช้เทคโนโลยีการผลิตแหนดแดงของกรมวิชาการเกษตร และสามารถนำความรู้จากงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติได้ ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชผักรับประทานใบและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ นอกจากนี้แหนดแดงยังสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารทดแทนปุ๋ยเคมีให้แก่เกษตรกรผู้ผลิตผักอินทรีย์ หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อการผลิตผักตามมาตรฐานการผลิตพืช GAP ได้

Table 3 Effect of different treatments on fresh weight increase as compare to T5 of cos lettuce and value cost ratio (VCR) of urea and azolla application

Treatment	Fresh weight (kg/rai)	Yield increase		Value increase (Baht)	Cost (Baht)			VCR
		(%)	(kg/rai)		Urea	Azolla	Total	
T1: Control	659 c	-57	-879					
T2: 5 g Urea/m ²	909 c	-41	-629					
T3: 10 g Urea/m ²	1,099 c	-29	-439					
T4: 15 g Urea/m ²	1,355 c	-11	-183					
T5: 20 g Urea/m ²	1,538 bc	-	-	-	750.0	-	750.0	-
T6: Az	2,603 ab	69	1,065	85,200	-	1,050	1,050.0	81.14
T7: Az+5 g Urea/m ²	2,686 a	75	1,148	91,840	187.5	1,050	1,237.5	74.21
T8: Az+10 g Urea/m ²	2,765 a	80	1,227	98,160	375.0	1,050	1,425.0	68.88
T9: Az+15 g Urea/m ²	3,304 a	115	1,766	141,280	562.5	1,050	1,612.5	87.62
T10: Az+20 g Urea/m ²	3,264 a	112	1,726	138,080	750.0	1,050	1,800.0	76.71
Average	2,018							
CV.(%)	18.24							

Means in a same column followed by different letters are significantly different at $p \leq 0.05$ by DMRT

Note*: Chemical fertilizer recommendation rate of 15-0-0 kgN-P₂O₅-K₂O/rai

Urea's price = 24,100 Baht/ton, Cos lettuce's price = 80 Baht/kg, Dried azolla's price = 1.31 Baht/Kg

สรุปผลการทดลอง

1. แหนแดงแห้งมีไนโตรเจน 4.58% ฟอสฟอรัส 0.64% และโพแทสเซียม 5.08% มี C/N ratio 9.95 หลังบ่ม 42 วันสามารถปลดปล่อยไนโตรเจน 36 กรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด และมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุด 12 กรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด ภายใน 1 วันหลังบ่ม สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัส 15 กรัมฟอสฟอรัส ต่อ 100 กรัมของฟอสฟอรัสทั้งหมด หลังบ่ม 35 วัน และปลดปล่อยโพแทสเซียม 33 กรัมโพแทสเซียมต่อ 100 กรัมของโพแทสเซียมทั้งหมด ภายใน 1 วันหลังการบ่ม ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่พืชผักรับประทานใบ
2. การใส่แหนแดงแห้ง 35 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ผักสลัดคอสที่ปลูกในกระถางมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม 736 เปอร์เซ็นต์ และ 286 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
3. การใส่แหนแดงแห้ง 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ในแปลงปลูกผักสลัดคอส สามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยยูเรียอัตรา 20 กรัม ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 69 เปอร์เซ็นต์

การนำไปใช้ประโยชน์

ในปี พ.ศ. 2565 ได้ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการใช้แหนแดงให้แก่เจ้าหน้าที่สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 2 6 7 และ 8 กรมวิชาการเกษตร จำนวน 200 ราย และกรมส่งเสริมการเกษตร จำนวน 974 ราย เครือข่ายเกษตรกร จำนวน 8 เครือข่าย เครือข่ายผู้ผลิต 251 เครือข่าย เกษตรกร จำนวน 8,437 ราย ในพื้นที่กว่า 3,451 ไร่ โดยนำไปใช้ประโยชน์ผลิตพืชผักผสมผสาน พืชผักอินทรีย์ ไม้ผล นาข้าว และปศุสัตว์ เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ขยายผลการใช้แหนแดงในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน 8 จังหวัด ประกอบด้วย เครือข่ายเกษตรกร 8 เครือข่าย เกษตรกร 616 ราย พื้นที่ 301 ไร่ หน่วยงานราชการ 1 หน่วยงาน คือ กรมส่งเสริมการเกษตร
2. สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ขยายผลการใช้แหนแดงในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน 11 จังหวัด ประกอบด้วย เครือข่ายผู้ผลิต (เกษตรกร กลุ่มเกษตรกร) 95 เครือข่าย เกษตรกร 2000 ราย พื้นที่ 1,000 ไร่ ได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าว ไม้ผล เกษตรผสมผสาน พืชผัก และใช้ในการเลี้ยงสัตว์
3. สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 ขยายผลการใช้แหนแดงในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง 9 จังหวัด ประกอบด้วย เครือข่ายผู้ผลิต (เกษตรกร กลุ่มเกษตรกร) 134 เครือข่าย เกษตรกร 2,500 ราย พื้นที่ 1,500 ไร่ ได้แก่ พื้นที่ปลูกพืชผักและพืชผสมผสาน
4. สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 ขยายผลการใช้แหนแดงในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันตก 19 จังหวัด ประกอบด้วย สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 และศวพ. จังหวัด 7 แห่ง เกษตรกรแปลงต้นแบบจำนวน 60 แปลง เกษตรกร 1,300 ราย พื้นที่ 650 ไร่ ได้แก่ พื้นที่ปลูกพืชผัก นาข้าว และปศุสัตว์

5. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 ขยายผลการใช้แผนแดงในพื้นที่ภาคตะวันออก 8 จังหวัด ประกอบด้วย เครือข่ายผู้ผลิต (เกษตรกร กลุ่มเกษตรกร) 22 เครือข่าย เป็นเกษตรกรผู้ผลิตพืชผักผสมผสานและพืชอินทรีย์ เกษตรกร 821 ราย

6. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 8 ขยายผลการใช้แผนแดงในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง 7 จังหวัด ประกอบด้วย ศูนย์ชีวภัณฑ์ชุมชน (เกษตรกร กลุ่มเกษตรกร) 20 ศูนย์ เกษตรกร 1,200 ราย ชนิดพืช ได้แก่ กลุ่มพืชผัก พืชผสมผสาน ไม้ผล

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2552. *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ*. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. 122 หน้า
- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. *คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช*. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 164 หน้า.
- ประพิศ แสงทอง และพิชิต พงษ์สกุล. 2536. ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากแผนแดง. *ว. ดินและปุ๋ย*. 15: 173-181.
- ยงยุทธ โอสภสกา. 2557. การใช้สารเร่งเชิงชีวภาพเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. *ว. ดินและปุ๋ย*. 36: 27-54.
- ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต ประไพ ทองระอา กัลยาณี สุวิทวัส กานดา ฉัตรไชยศิริ นิศารัตน์ ทวีนุต ภาสณฑ์ สารทูลหัต และพิมพ์นิภา เพ็งช่าง. 2558. การใช้แผนแดงเป็นวัสดุดินผสมเร่งการเติบโตของต้นอ่อนกล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *ว. เกษตรพระจอมเกล้า*. 33 (พิเศษ 1): 589-595.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. ปริมาณและการนำเข้าปุ๋ยเคมี. แหล่งข้อมูล : <https://www.oae.go.th/view/1/ปัจจัยการผลิต/TH-TH#>. สืบค้น: 28 พฤษภาคม 2566.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- El-Araby, M.M.I., R.M. El-Shahate, E.W Eweda and M.N. El-Berashi. 2010. Enhancement of growth and endogenous phytohormones of *Azolla pinnata* in response to tryptophan. *Aus. J. Basic App. Sci.* 4(12): 6598-6604.
- Ito, O. and I. Watanabe. 1985. Availability to rice plants of nitrogen fixed by azolla. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31: 91-104.
- Jumadi, O., F. Hiola, Y. Hala, J. Norton and K. Inubushi. 2014. Influence of azolla (*Azolla microphylla* Kaulf.) compost on biogenic gas production, inorganic nitrogen and growth of upland kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in a silt loam soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 60: 722-730.

- Pervaiz Z., K. Hussain, S.S.H. Kazmi and K.H. Gill. 2004. Agronomic efficiency of different N:P ratios in rain fed wheat. *Int. J. Agri. Biol.* 6(3): 455–457.
- Sommer R., D. Bossio, L. Desta, J. Dimes, J. Kihara, S. Koala, N. Mango, D. Rodriguez, D. Thierfelder and L. Winowiecki. 2013. Profitable and sustainable nutrient management systems for East and Southern African smallholder farming systems - challenges and opportunities: a synthesis of the Eastern and Southern Africa situation in terms of past experiences, present and future opportunities in promoting nutrients use in Africa. CIAT, The University of Queensland, Australia, 91 p.
- Subedi, P. and J. Shrestha. 2015. Improving soil fertility through azolla application in low land rice: A review. *Azar. J. Agri.* 2(2): 35-39.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Sci. Amer. Proc.* 63: 257.
- Wang, X., H. Ma, C. Guan and G. Guan. 2022. Decomposition of rapeseed green manure and its effect on soil under two residue return levels. *Sustainability* 14, 11102.
- Watanabe, I., N.S. Berja and D.C. Del Rosario. 1980. Growth of azolla in paddy field as affected by phosphorus fertilizer. *Soil Sci. Plant Nutr.* 26: 301-307.
- Watanabe, I., and C. Ramirez. 1990. Phosphorus and nitrogen contents of azolla growth in the Philippines. *Soil Sci Plant Nutr.* 36(2): 319-331.
- Zhou, G., D. Chang, S. Gao, T. Liang, R. Liu and W. Cao. 2021. Co-incorporating leguminous green manure and rice straw drives the synergistic release of carbon and nitrogen, increases hydrolase activities, and changes the composition of main microbial groups. *Biol. Ferti. Soils.* 57(4): 1-15.