

การศึกษาการเจริญ การสะสม และการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

Study on Growth, Nutrients Accumulation and Release from *Azolla* Cultured in Swine Farm Effluent

ศิราภรณ์ ชื่นบาล^{1*} และฐปน ชื่นบาล¹

Siraporn Cheunbarn^{1*} and Tapan Cheunbarn¹

Received: July 28, 2018; Revised: October 8, 2018; Accepted: October 11, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสะสมและการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร สำหรับใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเพาะเลี้ยงแหนแดงในน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0 2 4 6 8 และ 10 % เป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง มีผลต่อการเจริญของแหนแดง แหนแดงเจริญได้ดีในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่ำ ๆ โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2 % แหนแดงมีการเจริญสูงที่สุด มีน้ำหนักแห้ง 16.46 ± 0.8 กรัม/ตร.ม. และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ 0.11 ต่อวัน ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงแหนแดงที่เหมาะสมคือ 2 สัปดาห์ แหนแดงที่เพาะเลี้ยงได้มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่ากับ 3.53 0.87 และ 7.43 % ตามลำดับ การศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงด้วยการบ่มดินร่วมกับแหนแดง พบว่าแหนแดงสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้ตลอด 7 สัปดาห์ของการบ่ม โดยเริ่มปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาตั้งแต่ในช่วงสองสัปดาห์แรก ๆ ของการบ่ม สรุปได้ว่าแหนแดงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการพัฒนาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เร็วและยาวนาน

คำสำคัญ : แหนแดง; การสะสมธาตุอาหาร; การปลดปล่อยธาตุอาหาร; น้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

¹ Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai

* Corresponding Author E - mail Address: siraporn@mju.ac.th

Abstract

This research aims to study the accumulation and the release of nutrients from *Azolla* that cultured in swine wastewater effluent for using as a soil amendment. In this study, *Azolla* were cultivated for 1 month in anaerobic swine wastewater effluent at 0, 2, 4, 6, 8 and 10 % dilutions. The results showed that the concentration of effluent and the duration of culture affected the growth of *Azolla*. *Azolla* could be growth better in low effluent dilutions. At 2 % effluent dilution, *Azolla* was reported as the highest growth with dry weight at $16.46 \pm 0.8 \text{ g/m}^2$ and the relative growth rate at 0.11 d^{-1} . The optimum period for cultivating *Azolla* was 2 weeks. The nutrient concentration of the cultivated *Azolla* of N, P and K were 3.35, 0.87 and 7.43 %, respectively. The study on nutrients release of *Azolla* was determined by incubation of soil mixed with *Azolla*. The results suggested that *Azolla* increased organic materials in soil and released nutrients during 7 weeks of incubation, starting from the first two weeks. In conclusion, *Azolla* is suitable for soil amendment development due to rapid and long- lasting nutrients release.

Keywords: *Azolla*; Nutrient Accumulation; Nutrient Release; Swine Farm Effluent

บทนำ

การเลี้ยงสุกรถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2560 มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรทั้งสิ้นจำนวน 180,606 ราย คิดเป็นจำนวนสุกรทั้งสิ้น 10,191,784 ตัว [1] สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนั้น นิยมใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือถังย่อยไร้อากาศ เพราะนอกจากจะช่วยบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังได้ก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานได้อีกทางหนึ่งด้วย แต่อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ผ่านระบบถังย่อยไร้อากาศยังคงมีสารอินทรีย์ แอมโมเนีย และของแข็งแขวนลอยหลงเหลืออยู่ค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอาจก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนั้นได้ จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้เกษตรกรต้องเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นในการบำบัด เป็นเหตุให้ปัญหาเหล่านี้ถูกละเลย อย่างไรก็ตามปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้เนื่องจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกรนั้นเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่าย โดยพืชน้ำสามารถใช้สารอินทรีย์ในการเจริญเติบโต และเก็บสะสมให้เป็นชีวมวลที่สามารถนำไปผลิตเป็นปุ๋ยพืชสดหรือวัสดุปรับปรุงดินได้ ซึ่งนอกจากจะช่วยทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพที่ดีขึ้นและไม่ทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติเน่าเสียแล้ว เกษตรกรยังได้ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดินไว้ใช้แทนการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับการเพาะปลูกแบบเกษตรอินทรีย์อีกด้วย

แหนแดงเป็นเฟิร์นน้ำ (Water Fern) ขนาดเล็กชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกในนาข้าวเพื่อใช้เป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน โดยนิยมนำมาใช้ทำปุ๋ยพืชสด เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต เนื่องจากแหนแดงนั้นมีความสัมพันธ์กับสาหร่าย *Anabaena* sp. แบบพึ่งพาอาศัย (Mutualism) ซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ

(Nitrogen Fixation) ทำให้แทนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 2 - 4.5 % ของน้ำหนักแห้ง [2] - [3] แทนแดงสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถให้ผลผลิตถึง 3 ต้นต่อไร่ ถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม [4] แต่อย่างไรก็ตามแทนแดงนิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสดสำหรับในนาข้าวเท่านั้น ยังมีไดนามาเพาะเลี้ยงและใช้ประโยชน์อย่างจริงจังในรูปของปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน อีกทั้งยังพบว่าแทนแดงสามารถใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรได้ [5] โดยสามารถลดค่าความสกปรกในน้ำทิ้งได้ดีในช่วงระยะเวลาเพียง 3 สัปดาห์ [6] ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ศึกษาขั้นตอนการเพาะเลี้ยงแทนแดงในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดถึงย่อยไร้อากาศจากฟาร์มเลี้ยงสุกร เพื่อให้ได้แทนแดงที่มีปริมาณของสารอาหารสูงรวมทั้งการปลดปล่อยธาตุอาหารของแทนแดง เพื่อสามารถพัฒนาไปสู่การเพาะเลี้ยงแทนแดงเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับทดแทนหรือลดการใช้ปุ๋ยเคมีลง

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงแทนแดง

1. วิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศฟาร์มสุกร ดังนี้ Nitrate-N, Ammonia-N และ Orthophosphate (Soluble Reactive Phosphorus, SRP) ด้วย Spectrophotometer, BOD₅ ด้วยวิธี Azide Modification Method และ COD ด้วยวิธี Close Reflux Method [7]

2. ศึกษาการเจริญของแทนแดงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกร โดยเป็นการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งเป็น 6 ชุดการทดลอง ชุดละ 3 ข้ำ ในแต่ละชุดการทดลองใช้น้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ความเข้มข้น 0 %

ชุดการทดลองที่ 2 ความเข้มข้น 2 % ใช้น้ำทิ้ง ปริมาตร 200 มล. ผสมน้ำประปา 9.8 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้น 4 % ใช้น้ำทิ้ง ปริมาตร 400 มล. ผสมน้ำประปา 9.6 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 4 ความเข้มข้น 6 % ใช้น้ำทิ้ง ปริมาตร 600 มล. ผสมน้ำประปา 9.4 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 5 ความเข้มข้น 8 % ใช้น้ำทิ้ง ปริมาตร 800 มล. ผสมน้ำประปา 9.2 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 6 ความเข้มข้น 10 % ใช้น้ำทิ้ง ปริมาตร 1,000 มล. ผสมน้ำประปา 9.0 ลิตร

ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการศึกษาในอ่างดินเผา ปริมาตรน้ำตัวอย่าง 10 ลิตร น้ำหนักแทนแดงเริ่มต้น 12 กรัม ตั้งทิ้งไว้กลางแจ้งที่มีแสงแดดรำไร เป็นเวลา 1 เดือน เติมน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นเท่าเดิมลงในอ่างให้เท่ากับการระเหยในทุกสัปดาห์

3. ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตแทนแดงและนำมาศึกษาการเจริญเติบโตของแทนแดงทุกสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์ วิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง น้ำหนักสด อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และระยะเวลาที่เพิ่มเป็น 2 เท่า (Doubling Time)

4. ศึกษาการสะสมธาตุอาหารของแทนแดงทุกสัปดาห์จากผลผลิตของแทนแดงที่เก็บเกี่ยวได้โดยศึกษาไนโตรเจน ด้วยวิธี Kjeldahl Method [8] ฟอสฟอรัส ด้วยวิธี Yellow Method และโพแทสเซียม ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer [9]

5. ทำการเพาะเลี้ยงแทนแดงด้วยความเข้มข้นน้ำทิ้งและระยะเวลาที่เหมาะสมจากผลการทดลองข้างต้น เก็บเกี่ยวผลผลิตแทนแดงที่ได้และนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุอาหารและ C/N Ratio

ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารของแทนแดง

1. นำผลผลิตแทนแดงที่เพาะเลี้ยงไว้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 - 80 °C เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่ ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม.

2. ทำการเก็บตัวอย่างดินที่มีความลึก 0 - 10 เซนติเมตร จากแปลงนาข้าวในพื้นที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (ชุดดินสันทราย) มาตากจนแห้ง ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม.

3. ทำการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารของแทนแดง โดยมีการออกแบบทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) และแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง แต่ละชุดมี 3 ซ้ำ ชุดที่ 1 ไม่ใส่แทนแดง ชุดที่ 2 ดินผสมแทนแดง 0.5 กรัม ชุดที่ 3 ดินผสมแทนแดง 1 กรัม แต่ละชุดการทดลองใช้ตัวอย่างดินบรรจุในกระป๋องพลาสติกขนาด 6 ออนซ์ จำนวน 8 กระป๋อง ๆ ละ 100 กรัม รวมกับแทนแดงให้มีความชื้นเท่ากับ 60 % ความจุอุ้มน้ำ แล้วนำไปบ่มในโถพลาสติกที่ปิดสนิท เป็นเวลา 7 สัปดาห์

4. วิเคราะห์ธาตุอาหารเริ่มต้น และหลังสิ้นสุดในแต่ละสัปดาห์ โดยนำดินตัวอย่างในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน โดยวิธี Kjeldahl Method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดด้วยน้ำยา Bray II วัดความเข้มด้วย Spectrophotometer โพแทสเซียมที่สกัดได้ สกัดด้วย NH_4OAc pH 7.0 วัดด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer [10]

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบการเจริญของแทนแดงและความเข้มข้นของธาตุอาหารในแทนแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูล (ANOVA) ในแต่ละชุดการทดลองและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ศึกษาความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาที่เหมาะสมในเพาะเลี้ยงแทนแดง

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง มีคุณสมบัติดังนี้ COD 920 มก./ลิตร และ BOD 260 มก./ลิตร ในขณะที่ค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มสุกรประเภท ข. (จำนวนสุกร ตั้งแต่ 500 - 5,000 ตัว) นั้น COD ไม่เกิน 400 มก./ลิตร และ BOD ไม่เกิน 100 มก./ลิตร [11] จึงนับได้ว่าน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก เหมาะสมที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเลี้ยงแทนแดงเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งมีผลต่อการเจริญของแทนแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แทนแดงสามารถเจริญได้ในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งไม่สูง โดยพบว่าแทนแดงให้ผลผลิตมากที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 2 % ในสัปดาห์ที่ 3 ของการเพาะเลี้ยง คิดเป็นผลผลิตของน้ำหนักแห้ง 16.46 ± 0.8 กรัม/ตร.ม. รองลงมา ได้แก่ ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 และ 6 % ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 8 และ 10 % แทนแดงเจริญได้ไม่ดี จากการศึกษาของ Tokhun, N. et al. [6] พบว่าแทนแดงเจริญเติบโตเต็มที่ในระยะเวลา 13 - 15 วันของการเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งมากที่สุด

จากผลการทดลองในรูปที่ 1 พบว่า ในสัปดาห์แรกของการเพาะเลี้ยงแทนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) สูงที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2 % โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

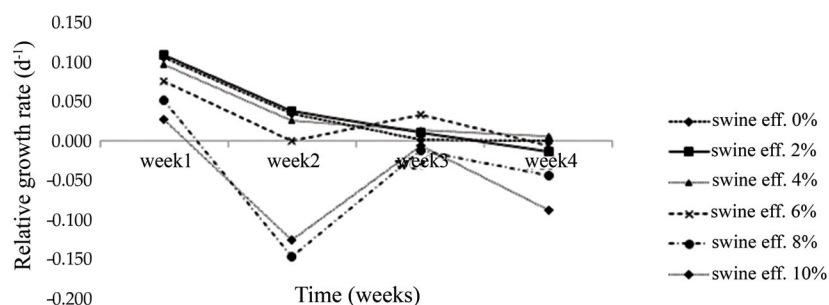
0.110 ต่อวัน รองลงมา ได้แก่ ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 และ 6 % ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 8 และ 10 % แหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำ เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่มากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตของแหนแดงชะงัก โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปของ NH_4^+ ถ้ามีความเข้มข้นมาก อาจทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้น [12] เป็นเหตุให้ความยาวรากลดลง [13] ระบบรากไม่สามารถนำน้ำและอาหารไปเลี้ยงลำต้นได้ โดยพบว่าเริ่มเป็นสีเหลืองและแห้ง ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ 8 และ 10 % นั้น แหนแดงมีรากที่สั้นและไม่ค่อยเจริญ ในขณะที่ Singh, P. K. et al. [14] พบว่าถ้าแหนแดงได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้การเจริญของแหนแดงลดลงได้เช่นกัน

แหนแดงสามารถเพิ่มปริมาณเป็น 2 เท่า (Doubling Time) ได้ในระยะเวลา 4 - 5 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 และ 4 % ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 6.8 และ 10 % ปริมาณของแหนแดงเพิ่มเป็น 2 เท่าที่ระยะเวลามากกว่า 7 วัน ทั้งนี้เนื่องจากแหนแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำ และมีการตายเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แหนแดงหยุดชะงักการเจริญเติบโตได้เช่นกัน [15]

ตารางที่ 1 น้ำหนักแห้งของแหนแดงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Swine effluent concentrations (%)	Dry weight (g/m ²)			
	week 1	week 2	week 3	week 4
0	11.24 ± 0.38 ^{ab}	14.41 ± 0.66 ^a	14.63 ± 0.69 ^{ab}	14.50 ± 0.64 ^a
2	11.56 ± 0.22 ^a	15.24 ± 0.62 ^a	16.46 ± 0.80 ^a	15.26 ± 0.74 ^a
4	10.63 ± 0.28 ^b	12.72 ± 0.60 ^b	14.23 ± 0.91 ^b	14.77 ± 0.94 ^a
6	9.07 ± 0.54 ^c	9.15 ± 0.78 ^c	11.23 ± 0.84 ^c	11.15 ± 0.7 ^b
8	7.67 ± 0.68 ^d	2.7 ± 0.64 ^d	2.54 ± 0.69 ^d	1.86 ± 0.45 ^c
10	6.47 ± 0.70 ^e	2.68 ± 0.71 ^d	2.58 ± 0.64 ^d	1.41 ± 0.28 ^c
F-test	**	**	**	**

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



รูปที่ 1 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของแหนแดงในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

จากผลการทดลองในรูปที่ 2 (ก) พบว่าแทนแดงมีปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อสูงที่สุดในสัปดาห์แรกของการเพาะเลี้ยง จากเริ่มต้น 2.73 % เป็น 3.26 3.4 3.7 3.42 4.2 และ 4.05 % ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0 2 4 6 8 และ 10 % ตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อจะลดลงเล็กน้อย โดยพบว่าความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้ง มีผลต่อการสะสมของปริมาณไนโตรเจนในแทนแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 2) สำหรับการสะสมฟอสฟอรัส ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 2 (ข) พบว่าในสัปดาห์แรกของการเพาะเลี้ยง แทนแดงมีปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อสูงที่สุดเช่นกัน จากเริ่มต้น 0.3 % เป็น 0.47 0.67 0.73 0.78 0.83 และ 0.82 % ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0 2 4 6 8 และ 10 % ตามลำดับ และหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อย พบว่าความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้ง มีผลต่อการสะสมของปริมาณฟอสฟอรัสในแทนแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 2) และสำหรับการสะสมโพแทสเซียม ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 2 (ค) พบว่าแทนแดงมีปริมาณโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 ของการเพาะเลี้ยงจากเริ่มต้น 4.60 % เป็น 6.11 6.41 6.99 7.31 7.26 และ 5.94 % ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 0 2 4 6 8 และ 10 % ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของระดับน้ำทิ้ง มีผลต่อการสะสมของปริมาณฟอสฟอรัสในแทนแดงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 2)

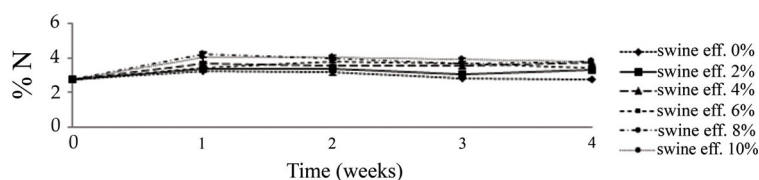
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำทิ้งสูงขึ้น ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของแทนแดงมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของแทนแดงนั้นสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงเป็นสำคัญ [16] อย่างไรก็ตามในบางความเข้มข้นที่พบว่าธาตุอาหารในเนื้อเยื่อแตกต่างกัน โดยเฉพาะในความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 10 % บางครั้งพบว่าปริมาณสะสมของธาตุอาหารไม่สูงที่สุด โดยเฉพาะในสัปดาห์แรก ๆ ของการเพาะเลี้ยง เนื่องจากปัญหาการเจริญของแทนแดงที่ไม่ค่อยดีนัก ทำให้รากทำงานได้ไม่ดี จึงอาจส่งผลต่อการสะสมของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของแทนแดงได้ ผลที่ได้แสดงว่าแทนแดงสามารถดูดซับและสะสมธาตุอาหารไว้ในเนื้อเยื่อได้มากในระยะเวลา 1 - 2 สัปดาห์แรกของการเจริญ เนื่องจากแทนแดงจะมีการดูดซับสารอาหารต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเจริญ ทำให้เกิดการสะสมของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อค่อนข้างมาก แต่หลังจากนั้นปริมาณธาตุอาหารจะลดลงเมื่อเวลานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแทนแดงมีอายุมากขึ้นและได้ส่งอาหารไปยังต้นใหม่ ๆ ที่เจริญขึ้น ซึ่งกระบวนการแตกต้นอ่อนมีผลต่อการลำเลียงธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายได้ไปสู่ต้นอ่อน [17] และเนื่องจากเมื่อแทนแดงมีอายุมากขึ้นจะได้รับผลกระทบได้ง่ายจากสารอาหารที่มีปริมาณมากเกินไปในน้ำเลี้ยง ในขณะที่แทนแดงที่อายุน้อย ๆ จะไม่ค่อยได้รับผลกระทบ [18] ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณของสะสมธาตุอาหารไว้ในเนื้อเยื่อน้อยลง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการเจริญของแทนแดงคือ 2 % ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงคือ 2 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่แทนแดงให้ชีวมวลในรูปน้ำหนักแห้งมาก มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูง มีปริมาณการสะสมของธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในปริมาณสูง และเมื่อนำแทนแดงที่เพาะเลี้ยงได้ไปวิเคราะห์ พบว่าแทนแดงมี C/N Ratio 12.49 ซึ่งใกล้เคียงกับ มูลสุกร มูลควาย และมูลวัว ซึ่งการที่แทนแดงมีค่า C/N Ratio ที่แคบนี้จะทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็ว ใช้เวลาในการย่อยสลายน้อย ปลดปล่อยธาตุอาหารได้ดี โดยทั่วไปอัตราส่วน C/N Ratio ตามมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรไม่ควรเกิน 20 [19] แทนแดงที่เพาะเลี้ยงได้นี้มีธาตุอาหารดังนี้ ไนโตรเจน 3.53 % ฟอสฟอรัส 0.87 % โพแทสเซียม 7.43 % ซึ่งแทนแดงที่เพาะเลี้ยงนี้พบว่าจะมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าแทนแดงที่เจริญในธรรมชาติทั่วไปที่มีปริมาณไนโตรเจน 3.3 % ฟอสฟอรัส 0.57 % โพแทสเซียม 1.23 % [20]

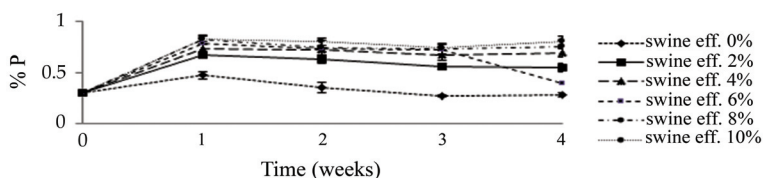
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยธาตุอาหารในแหนแดงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันในระยะเวลา 1 เดือน

Swine effluent concentrations (%)	Nutrient concentration in <i>Azolla</i> (%)		
	Nitrogen (N)	Phosphorus (P)	Potassium (K)
0	3.0050 ± 0.24 ^a	0.3425 ± 0.09 ^a	5.4150 ± 0.72
2	3.2700 ± 0.16 ^b	0.6025 ± 0.06 ^a	6.0275 ± 0.86
4	3.6275 ± 0.11 ^{bc}	0.7025 ± 0.03 ^b	6.3300 ± 1.04
6	3.5825 ± 0.18 ^c	0.6556 ± 0.18 ^b	6.2825 ± 1.40
8	3.9125 ± 0.23 ^c	0.7625 ± 0.05 ^c	6.0100 ± 1.06
10	3.9550 ± 0.13 ^c	0.7900 ± 0.04 ^c	6.1175 ± 0.94
F	**	**	ns

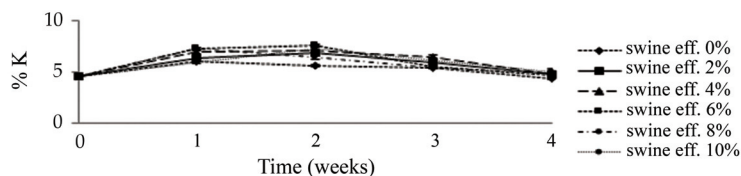
หมายเหตุ ** และ ns หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวดิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



(ก) ไนโตรเจน



(ข) ฟอสฟอรัส



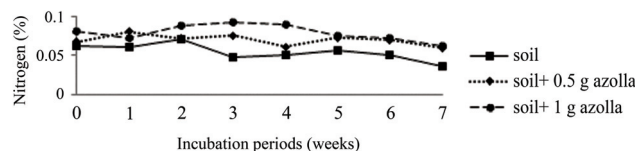
(ค) โพแทสเซียม

รูปที่ 2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในแหนแดงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

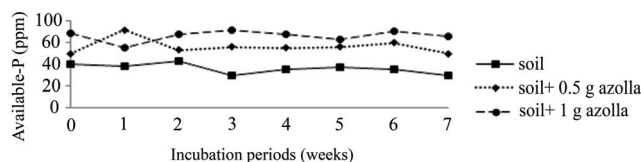
การศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารของแทนแดง

จากผลการทดลองในรูปที่ 3 (ก) - (ค) พบว่าการปลดปล่อยธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน ดินที่ผสมแทนแดงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้ดี โดยเฉพาะในช่วงสัปดาห์แรก ๆ ของการบ่ม และยังสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้ตลอดเวลาของการบ่ม ทั้งนี้เนื่องจากแทนแดงมีการสลายตัวที่รวดเร็ว โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นได้ดีในช่วงแรกของย่อยสลาย แทนแดงสามารถย่อยสลายได้ 50 % ในระยะเวลา 6 สัปดาห์ [21] ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ง่าย เช่น แป้ง และโปรตีน เป็นองค์ประกอบสำคัญของแทนแดง [22] โดยเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ ทำให้แบคทีเรียและราเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ๆ ของการสลายตัว ในขณะที่ลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในแทนแดงนั้นเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนย่อยสลายได้ยาก ทำให้ตลอดระยะเวลา 7 สัปดาห์ของการบ่มแทนแดงยังสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้ โดย 75 % ของไนโตรเจนในแทนแดงจะถูกปลดปล่อยออกมาใน 6-8 สัปดาห์ เมื่อแทนแดงถูกย่อยสลาย [23]

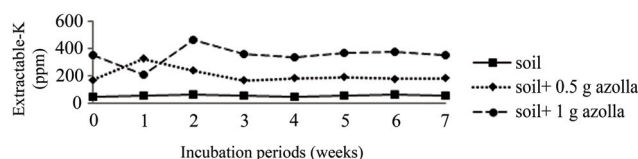
สำหรับดินเพียงอย่างเดียวพบว่าการปลดปล่อยธาตุอาหารได้เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้แสดงว่าดินที่ใช้ในการทดลองยังมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เนื่องจากเป็นดินนา แต่เนื่องจากจำนวนธาตุอาหารในดินนั้นมีอยู่เป็นจำนวนน้อย ทำให้กิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์เป็นไปได้น้อย ในขณะที่ดินที่ผสมแทนแดงนั้นมีอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มมากขึ้น จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นอนินทรีย์ได้ดี จึงมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาสู่ดินได้มากกว่า ซึ่งการปลดปล่อยนั้นจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณการของแทนแดงที่ใส่ลงในดิน อย่างไรก็ตามในช่วงของสัปดาห์แรกของการบ่มนั้น ดินที่ผสมแทนแดง 1 กรัม มีการปลดปล่อยธาตุอาหารได้น้อยกว่าดินที่ผสมแทนแดง 0.5 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ที่อยู่ในช่วงแรกอาจน้อย จึงใช้เวลาในการปรับตัวและเริ่มทำงานได้ดีหลังจาก 1 สัปดาห์ของการบ่ม ซึ่งจะทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นกว่าชุดการทดลองที่ใส่ดิน 0.5 กรัม และดินเพียงอย่างเดียวตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง



(ก) ไนโตรเจน



(ข) ฟอสฟอรัส



(ค) โพแทสเซียม

รูปที่ 3 การปลดปล่อยธาตุอาหารของแทนแดงในระยะเวลา 7 สัปดาห์ของการบ่ม

สรุปผลการวิจัย

ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง มีผลต่อการเจริญของแหนแดง แหนแดงเจริญได้ดีในน้ำทิ้งฟาร์มสุกรความเข้มข้น 2 % ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 2 สัปดาห์ ซึ่งแหนแดงให้ชีวมวลในรูปน้ำหนักแห้งสูง มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูง มีการสะสมของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อค่อนข้างมาก และเมื่อนำมาบ่มพบว่าแหนแดงสามารถเริ่มปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาตั้งแต่ในช่วงสัปดาห์แรก ๆ ของการบ่ม และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้ตลอด 7 สัปดาห์ของการบ่ม ทำให้มีสารอาหารค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาได้ยาวนาน แหนแดงจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนในการทำงานวิจัย และสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือในการทำวิจัย

References

- [1] Department of Livestock Development. (2017). **The livestock in Thailand 2017**. Bangkok
- [2] 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**. Vol. 2010, pp. 1-5. DOI: 10.1155/2010/152158
- [3] Watanabe, I. and Ramirez, C. (1990). Phosphorus and Nitrogen Contents of *Azolla* Grown in the Philippines. **Soil Science and Plant Nutrition**. Vol. 36, Issue 2, pp. 319-331. DOI: 10.1080/00380768.1990.10414998
- [4] Wongbung, W. (1994). *Azolla* and Utilization in Rice Field. **Natural Agriculture Journal**. Vol. 11, No. 3, pp. 44-50
- [5] Klomje, P., Homhaul, W., Suwannasri, D., and Phonrit, N. (2015). Swine Wastewater Treatment Using Water fern (*Azolla microphylla*) in Floating Aquatic Plant Wastewater Treatment System. **KKU Science Journal**. Vol. 43, No. 4, pp. 698-714
- [6] Tokhun, N., Boonthai Iwai, C., and Ta-oun, M. (2011). Wastewater Treatment from Piggery farm by Using *Azolla microphylla*. In **Proceedings of the 12th Graduate Research Conference Khon Koen University**. pp. 779-783
- [7] APHA, AWWA and WEF. (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters**. (20th ed). Washington, D.C.: American Public Health Publisher Inc.
- [8] AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. (17th ed). Maryland: Association of Analytical Communities.

- [9] Soil and Plant Analysis Council. (2000). Chapter 7: Major Cat ion (Potassium, Calcium, Magnesium, and Sodium). In **Soil Analysis Handbook of Reference Methods**. pp. 109-110. New York : CRS Press.
- [10] Land Development Department. (2010). **Handbook of Soil Chemical Analysis Processes**. Bangkok. Document No. OSD-03
- [11] Pollution Control Department. (2005). **Water Quality Standard**. Access (6 August 2018). Available (http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html)
- [12] Tylova-Munzarova, E., Lorenzen, B., Brix, H., and Votrubova, O. (2005). The Effects of NH_4^+ and NO_3^- on Growth, Resource Allocation and Nitrogen Uptake Kinetics of *Phragmites australis* and *Glyceria maxima*. **Aquatic Botany**. Vol. 81, pp. 326-342. DOI:10.1016/j.aquabot.2005.01.006
- [13] Jampeetong, A., Sripakdee, T., Khamphaya, T., and Chairuangstri, S. (2016). The Effects of Nitrogen as NO_3^- and NH_4^+ on the Growth and Symbiont (*Anabaena azollae*) of *Azolla pinnata* R. Brown. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**. Vol. 15, No. 1, pp. 11-20. DOI: 10.12982/CMUJNS.2016.0002
- [14] Singh, P. K., Sing, D. P., and Sing, R. P. (1992). Growth, Acetylene Reduction Activity, Nitrate Uptake and Nitrate Reductase Activity of *Azolla caroliniana* and *Azolla pinnata* at Varying Nitrate Levels. **Biochemie and Physiologie der Pflanzen**. Vol. 188, Issue 2, pp. 121-127. DOI: 10.1016/S0015-3796(11)80019-3
- [15] Forni, C., Chen, J., Tancioni, L., and Caiola, M. G. (2001). Evaluation of the Fern *azolla* for Growth, Nitrogen and Phosphorus Removal from Wastewater. **Water Research**. Vol. 35, No. 6, pp. 1592-1598
- [16] Costa, M. L., Santos, M. C., and Carrapiç, F. (1999). Biomass Characterization of *Azolla filiculoides* Grown in Natural Ecosystems and Wastewater. **Hydrobiologia**. Vol. 415, pp. 323-327. DOI: 10.1023/A:1003824426183
- [17] Prakobmee, A., Isarangkool, Na Ayutthaya S., and Techawongstien, S. (2014). Effect of Leaves Age and Leaves Position on Macronutrients in Leaves of Rubber Tree Clone RRIM 600. **Khon Kaen Agriculture Journal**. Vol. 42, Supp 1, pp. 180-185
- [18] Maejima, K., Kitoh, S., Uheda, E., and Shiomi, N. (2001). Response of 19 *Azolla* Strains to a High Concentration of Ammonium Ions. **Plant and Soil**. Vol. 234, Issue 2, pp. 247-252. DOI: 10.1023/A:1017912613526
- [19] Department of Agriculture announced in the organic fertilizer criteria B. E. 2557. (2014, 12, February). **Government Gazette**. Suppl. 29, Vol. 131, pp.4
- [20] Treeamnuk, T. (2014). **A Study on Appropriate Approaches for Integrated Management of Organic Fertilizer Production**. Research Report. Nakhorn Ratchasima: Suranaree University of Technology

- [21] Cheunbarn, S., Jaruthanakul, W., Cheunbarn, T., and Sillapawattana, P. (2017). Decomposition of Azolla and Nitrogen Concentration Changing. In **Proceedings of the Maejo University Annual Conference 2017**. pp. 139-147. Chiang Mai
- [22] Wongbun, V. (2551). Azolla and Utilization in Rice Field. **Agricultural Nature**. Vol. 3, pp. 44-50
- [23] Singh, P. K. and Sing, D. P. (1990). Azolla and Rice Cultivation. In **Biofertilizers**. Somani, L. L., S. C. Bhandari, S. C., Saxena, S. N. and Vgas, K. K., eds. pp. 39-65. Jodhpur: Scientific Publishers