วารสารผลิตกรรมการเกษตร
JOURNAL OF AGRICULTURAL PRODUCTION
MJU

ว. ผลิตกรรมการเกษตร 5(2):67-78
J. Agri. Prod. 2023

อิทธิพลของน้ำหมักชีวภาพต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากฟางข้าว

Influence of Bio-extracts on Plant Nutrient Release from Rice Straw

ชนากานต์ แย้มฎีกา[1] ผานิตย์ นาขยัน[2] สาวิกา กอนแสง[3] ภาวิณี อารีศรีสม[4] และ วีณา นิลวงศ์[4*]
Chanakan Yamdeeka[1] Phanit Nakayan[2] Sawika Konsaeng[3] Pawinee Areesrisom[4] and Weena Nilawonk[4*]

[1] สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[1] Division of Soil Science, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290
[2] สาขาการพัฒนาภูมิสังคมอย่างยั่งยืน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[2] Division of Geosocial Based Sustainable Development, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290
[3] สาขาวิชาเกษตรเคมี คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[3] Division of Agricultural Chemistry, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290
[4] สาขาการจัดการและพัฒนาทรัพยากร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[4] Division of Resources Management and Development, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290
[*] Corresponding author: w_nilawonk@hotmail.com

(Received: 10 February 2022; Revised: 22 August 2022; Accepted: 6 September 2022)

Abstract

The objective of this study was to determine the influence of bio-extract types, concentration, and proportion of straw to bio-extracts on the changes and releases of plant nutrients from rice straw. The experiment was conducted in a 3×3×2 factorial organized in a CRD with 3 replications. The first factor was the bio-extract; 1) fish bio-extract (BF), 2) pineapple bio-extract (BP), and 3) microbial activator PD2 (BM). The second factor was bio-extract concentrations; 1) stock (C1), 2) 10x dilution (C2), and 3) 15x dilution (C3), and the third factor was rice straw to bio-extract ratio; 1) 1:10 (R1) and 2) 1:25 (R2) w/v. The treatments were incubated at room temperature for 12 weeks. The results showed that the bio-extracts, concentration of bio-extracts, and rice straw to bio-extract ratios were significantly influenced on the changes and released of plant nutrients from rice straw ($p<0.05$). The BFC1R1 treatment showed the highest content of total nitrogen in incubated straw and solution (1.96% and 0.40%), BFC2R1 and BFC2R2 showed the highest content of total phosphorus (2.16% and 0.11% in incubated straw and solution) and calcium (0.11% in solution). The BMC1R1, BMC2R2, BMC1R2, and BMC2R1 showed the highest content of total potassium, calcium, and magnesium in incubated straw and solution. The results indicate that the efficiency of straw degradation and plant nutrient release depend on the bio-

extracts, concentration of bio-extract, and straw to bio-extract ratio. The best treatment for straw compost production is the fish bio-extract with 1:10 of straw to bio-extract proportion for 12 weeks of compost, that contain largest amount of N and P.

Keywords: Bio-extracts, plant nutrients released, rice straw

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากฟางข้าว โดยวางแผนการทดลองแบบ 3×3×2 Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ 1) น้ำหมักปลา 2) น้ำหมักสับปะรด และ 3) สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ ปัจจัยที่ 2 คือ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ 1) ไม่มีการเจือจาง 2) เจือจาง 10 เท่า และ 3) เจือจาง 15 เท่า และปัจจัยที่ 3 คือ อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ 1:10 และ 1:25 ทำการหมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กรรมวิธีการใช้น้ำหมักปลาที่ไม่เจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดทั้งในส่วนของฟางข้าวและสารละลายที่ได้จากการหมักเท่ากับ 1.96% และ 0.40% และเมื่อเจือจางน้ำหมักปลา 10 เท่า อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 และ 1:25 ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัส (2.16% ในฟางข้าว และ 0.11% ในสารละลาย) และแคลเซียมทั้งหมด (0.11% ในสารละลาย) สูงที่สุด ในขณะที่กรรมวิธีการใช้ พด.2 ที่ไม่เจือจางและเจือจาง 10 เท่า ในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 และ 1:25 ทำให้ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวและสารละลายหลังหมักสูงที่สุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนของฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากฟางข้าวที่แตกต่างกันออกไป โดยสูตรที่เหมาะสำหรับการผลิตปุ๋ยหมักฟางข้าวที่มีปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สูงที่สุดได้แก่ การหมักด้วยน้ำหมักปลาที่ไม่เจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหนักชีวภาพ 1:10 เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

คำสำคัญ: น้ำหมักชีวภาพ การปลดปล่อยธาตุอาหารพืช ฟางข้าว

คำนำ

“ฟางข้าว” เป็นวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากไร่นาซึ่งมีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 25.45 ล้านตัน และมีปริมาณตอซังข้าวที่ตกค้างอยู่ในนาข้าวปีละประมาณ 16.9 ล้านตัน ซึ่งการจัดการฟางข้าวและตอซังข้าวมีหลายวิธีการ เช่น การไถกลบ การเผา การทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น แต่การไถกลบตอซังร่วมกับการไถแปรและทำเทือก ทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกเพิ่มขึ้น 633-642% เมื่อเปรียบเทียบกับการไถกลบตอซังเพียงอย่างเดียว (อัจฉราวดี, 2552) ในขณะที่การเผาเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ประหยัดเงินและเวลามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดการตอซังวิธีอื่น ๆ (อนุสรา, 2560) ซึ่งการเผาฟางข้าวในที่โล่งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและส่งผลต่อภาวะโลกร้อนตลอดจนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Romasanta *et al.,* 2017) และทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง (บังอร และคณะ, 2559) ดังนั้นการนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรด้วยการทำปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชให้แก่ดินจึงน่าจะเป็นแนวทางที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาการจัดการฟางข้าวที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฟางข้าวมีองค์ประกอบของธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.14% ฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 0.11% และโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 0.89% นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของเซลลูโลส (39.56%) เฮมิเซลลูโลส (27.36%) และลิกนิน (14.12%) ทำให้ฟางข้าวมีอัตราการย่อยสลายค่อนข้างช้า (พันธ์ทิพย์ และปฐมพร, 2561; วิภาดา และนุษรา, 2556) จุลินทรีย์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาช่วยในการย่อยสลายและเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากฟางข้าว น้ำหมักชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเป็นแหล่งจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชโดยการย่อยสลายสารอินทรีย์แปรสภาพไปเป็นสารอนินทรีย์

และเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร นอกจากนี้ กรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพยังสามารถช่วยละลายแร่ธาตุให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยจุลินทรีย์จะขับเอนไซม์บางชนิดออกมา เช่น เอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยสลายเซลลูโลส เอนไซม์โปรติเอสทำหน้าที่ย่อยโปรตีน และเอนไซม์ฟอสฟาเทสทำหน้าที่ปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นต้น (โสพส, 2559) น้ำหมักปลาที่พัฒนาสูตรการผลิตโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2558) ประกอบด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น *Bacillus* sp. *Aspergillus* sp. และ *Lactobacillus* sp. ในขณะที่สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อเพื่อใช้สำหรับเป็นต้นเชื้อในการผลิตสารชีวภาพประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายเศษซากพืช ซากสัตว์ ได้แก่ *Pichia* sp., *Lactobacillus* sp., *Bacillus* sp. และ *Burkholderia* sp. (สำนักนิเทศและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน, 2550) นอกจากนี้ อัจฉรา และคณะ (2561) ได้ผลิตน้ำหมักชีวภาพจากสับปะรดที่มีจุลินทรีย์ *Lactobacillus* sp. ที่ทำหน้าที่ผลิตกรดแลคติกซึ่งปลดปล่อย H^+ ออกมาช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ NH_3 เมื่อนำจุลินทรีย์ *Lactobacillus* sp. มาใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมักทำให้มีปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น (Nie *et al.*, 2020) ในขณะที่ พันธ์ทิพย์ และปฐมพร (2561) ได้ศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักฟางข้าวร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกร พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากได้รับไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกร จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่สามารถช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักได้มาจากส่วนผสมที่ใช้ในการหมักและกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์สารให้เป็นอนินทรีย์สาร และปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาอยู่ในรูปที่สามารถละลายได้ง่ายและเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิของชนิดน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟางข้าวต่อน้ำหมัก ที่มีประสิทธิภาพต่อการย่อยสลายของฟางข้าวและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช เพื่อนำผลวิจัยที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางและพัฒนาการผลิตปุ๋ยหมักฟางข้าว และการส่งเสริมการย่อยสลายของฟางข้าวในสภาพหลังนา

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยการหมักฟางข้าว ณ อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบ 3×3×2 Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ 1. น้ำหมักปลา (Fish bio-extract; BF) 2. น้ำหมักสับปะรด (Pineapple bio-extract; BP) และ 3. สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ (Microbial activators PD2; BM) ปัจจัยที่ 2 คือ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ 1. ไม่มีการเจือจาง (C1) 2. เจือจาง 10 เท่า (C2) และ 3. เจือจาง 15 เท่า (C3) และปัจจัยที่ 3 คือ อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ 1:10 (R1) และ 1:25 (R2) กรัม/มิลลิลิตร

การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

การเตรียมน้ำหมัก 3 ชนิด ด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ได้แก่ สูตรที่ 1 น้ำหมักปลา ประกอบด้วย เศษปลา ผลไม้ กาก น้ำตาล น้ำเปล่า และสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) สูตรที่ 2 น้ำหมักสับปะรด ประกอบด้วย สับปะรด น้ำตาลทรายแดง และน้ำเปล่า (อัจฉรา และคณะ, 2561) และสูตรที่ 3 สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ ประกอบด้วย สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 กากน้ำตาล และน้ำเปล่า (สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน, 2550)

การหมักฟางข้าว

นำฟางข้าวที่สับจนมีขนาดความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร น้ำหนัก 10 กรัม ใส่ในขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำหมักชีวภาพตามกรรมวิธีต่าง ๆ ปิดผ้าขาวที่ปากขวดเพื่อให้ออกซิเจนสามารถผ่านเข้าไปได้ แล้วทำการบ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 สัปดาห์ หลังจากนั้นทำการกรองแยกส่วนของสารละลายออกจากฟางข้าวที่หมักไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืช

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้นของวัสดุและน้ำหมักแต่ละชนิด ได้แก่ ฟางข้าว สับปะรด น้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ฟางข้าวที่หมักแล้ว และสารละลายที่ได้หลังจากการหมักฟางข้าว โดยการวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ด้วยเครื่อง Electrical conductivity meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) ปริมาณกรดซิตริกทั้งหมด (Citric acid) และปริมาณกรดแลคติก

ทั้งหมด (Lactic acid) ใช้วิธีของ AOAC (1980) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) และอัตราส่วน C:N ประยุกต์ใช้วิธีของ Walkley and Black method ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N) วิเคราะห์โดยการย่อยด้วย conc. $HClO_4$ แล้วกลั่นสารละลายที่ได้ด้วยวิธี Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P) วิเคราะห์โดยใช้วิธี Vanadomolydate แล้ววัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total-K) ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (Total-Ca) และแมกนีเซียมทั้งหมด (Total-Mg) วิเคราะห์โดยทำการวัดสารละลายตัวอย่างที่ได้ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) สมบัติทางเคมีของน้ำหมักชนิดต่าง ๆ และวัสดุที่ใช้ในการหมักที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดัง Table 1

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี analysis of variance (ANOVA) และวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Table 1 Properties of bio-extracts and organic materials.

Properties	Bio-extract			Organic material	
	Fish	Pineapple	Microbial Activators PD2	Rice straw	Pineapple
pH	3.21	4.19	4.15	-	-
EC (dS/cm)	14.06	2.56	19.60	-	-
OM (%)	12.11	4.48	10.81	-	-
C:N ratio	19.77	297.14	49.07	236	235
Total-N (%)	0.36	0.009	0.13	0.21	0.24
Total-P (%)	0.63	0.002	0.03	0.03	0.10
Total-K (%)	1.09	0.05	0.90	8.18	1.53
Total-Ca (%)	0.88	0.32	0.03	0.27	0.32
Total-Mg (%)	0.33	0.01	0.28	3.97	0.34
Moisture (%)	-	-	-	12.22	85.05
Citric acid (%)	2.40	2.61	1.28	-	2.61
Lactic acid (%)	3.25	4.38	2.12	-	4.38

ผลการวิจัยและวิจารณ์

อิทธิพลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืชในฟางข้าว

จากการศึกษาพบว่า ชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ในฟางข้าวที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ดังนี้

ไนโตรเจน (Nitrogen: N)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 1.49% ซึ่งมากกว่าการหมักด้วยน้ำหมักสับปะรดและสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อซึ่งมีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 0.90% และ 1.09% ตามลำดับ ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีการเจือจางทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุด

เท่ากับ 1.32% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 และ 15 เท่า (1.13% และ 1.03% ตามลำดับ) แต่อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าว โดยอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพที่ 1:10 มีแนวโน้มทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 1.18% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน โดยกรรมวิธีที่ใช้น้ำหมักปลาที่ไม่เจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 1.96% (Table 2)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus: P)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 1.11% ซึ่งมากกว่าการหมักด้วยน้ำหมักสับปะรดและสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ (0.90% และ 0.21% ตามลำดับ) ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีการเจือจางทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 0.88% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 และ 15 เท่า (0.61% และ 0.71% ตามลำดับ) แต่การใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพนั้นไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าว โดยการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 มีแนวโน้มทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 0.81% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กัน โดยกรรมวิธีที่ใช้น้ำหมักปลาที่ไม่มีการเจือจางในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 2.16% (Table 2)

โพแทสเซียม (Potassium: K)

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 2.95% ซึ่งมากกว่าการหมักด้วยน้ำหมักปลาและน้ำหมักสับปะรดเท่ากับ 18.47% และ 96.67% ตามลำดับ ในขณะเดียวกันการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีการเจือจางทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 3.42% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 และ 15 เท่า (2.36% และ 1.12%) ส่วนการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 2.59% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน โดยกรรมวิธีสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อที่ไม่มีการเจือจางในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 5.79% (Table 2)

แคลเซียม (Calcium: Ca)

ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในฟางข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 6.43% มากกว่าการใช้น้ำหมักสับปะรดและสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในฟางข้าวเท่ากับ 0.80% และ 1.93% ตามลำดับ ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีการเจือจางทำให้มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในฟางข้าวเท่ากับ 4.25% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 และ 15 เท่า (2.43% และ 2.46% ตามลำดับ) และการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 3.79% ซึ่งมากกว่าการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:25 (2.31%) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน โดยกรรมวิธีที่ใช้น้ำหมักปลาที่เจือจาง 15 เท่าในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 7.10% (Table 2)

แมกนีเซียม (Magnesium: Mg)

ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อมีแนวโน้มทำให้ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 1.27%

ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีเจือจางทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวเฉลี่ยสูงสุดกับ 1.38% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 และ 15 เท่า (0.86% และ 0.49% ตามลำดับ) การใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 1.10% ซึ่งมากกว่าการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:25 (0.72%) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน โดยกรรมวิธีที่ใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อและไม่มีการเจือจางในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 3.27% (Table 2)

อิทธิพลของน้ำหมักชีวภาพต่อปริมาณธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ถูกปลดปล่อยจากฟางข้าว

จากการศึกษาพบว่า ชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนของฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพมีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดสู่สารละลายที่ได้จากการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ไนโตรเจน (Nitrogen: N)

การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.14% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักสับปะรดและสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ (0.01% และ 0.09% ตามลำดับ) ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีการเจือจางทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.12% ซึ่งมากกว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 และ 15 เท่า (0.11% และ 0.02% ตามลำดับ) ในขณะที่อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลาย โดยพบว่าการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 มีแนวโน้มทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 0.09% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพและอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ โดยกรรมวิธีที่ใช้น้ำหมักปลาที่ไม่มีการเจือจางในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดถูกปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.40% (Table 3)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus: P)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.04% ซึ่งมากกว่าการใช้น้ำหมักสับปะรดและสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ (0.005% และ 0.009% ตามลำดับ) ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 10 เท่าทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.03% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีการเจือจางและเจือจาง 15 เท่า (0.02% และ 0.01% ตามลำดับ) ส่วนการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 และ 1:25 ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากัน คือ 0.02% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพและอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ โดยกรรมวิธีที่ใช้น้ำหมักปลาเจือจาง 10 เท่าในอัตราส่วนของฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:25 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.11% (Table 3)

โพแทสเซียม (Potassium: K)

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในสารละลายมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.55% ซึ่งมากกว่าการใช้น้ำหมักปลาและน้ำหมักสับปะรด (0.48% และ 0.13% ตามลำดับ) และการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีการเจือจางทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.58% ซึ่งมากกว่าการหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 และ 15 เท่า (0.47% และ 0.11% ตามลำดับ) ในขณะที่อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียม

ในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.42% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน โดยกรรมวิธีที่ใส่สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ไม่มีการเจือจางในอัตราส่วนของฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมถูกปลดปล่อยจากฟางข้าวออกมาสู่สารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 1.36% (Table 3)

แคลเซียม (Calcium: Ca)

ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในสารละลายมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อแล้วทำให้มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.03% ซึ่งมากกว่าการใช้น้ำหมักปลาและน้ำหมักสับปะรด (0.02% และ 0.01% ตามลำดับ) ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 เท่าทำให้มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 0.03% สำหรับการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 และ 1:25 ทำให้มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในสารละลายเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.02% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน โดยกรรมวิธีสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 เจือจาง 10 เท่าในอัตราส่วนของฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:25 ทำให้มีปริมาณแคลเซียมถูกปลดปล่อยออกมาจากฟางข้าวสู่สารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.12% (Table 3)

แมกนีเซียม (Magnesium: Mg)

ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในสารละลายมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.15% ซึ่งมากกว่าการใช้น้ำหมักปลาและน้ำหมักสับปะรด (0.03% และ 0.005% ตามลำดับ) ในขณะที่การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 10 เท่า ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.10% สำหรับการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:25 ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.07% ซึ่งมากกว่าการใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 (0.05%) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน ในขณะที่กรรมวิธีสารเร่งซุปเปอร์ พด. 2 เจือจาง 10 เท่าในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:25 ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในสารละลายสูงที่สุดเท่ากับ 0.49% (Table 3)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน กล่าวคือ กรรมวิธีน้ำหมักปลาที่ไม่มีการเจือจางในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และแคลเซียมทั้งหมดเพิ่มปริมาณสูงขึ้นในฟางข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในฟางข้าวและน้ำหมักชีวภาพก่อนการหมัก อาจเป็นไปได้ว่าประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิด ความเข้มข้น และสัดส่วนการนำไปใช้ในการหมักฟางข้าว ซึ่งการหมักฟางข้าวในช่วงระยะเวลา 12 สัปดาห์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าวและสารละลายที่ได้จากการหมัก โดยฟางข้าวที่ผ่านการหมักมีสมบัติในการดูดซับธาตุอาหารพืชจากน้ำหมักซึ่งมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแคลเซียมสูงกว่าในฟางข้าว โดยน้ำหมักปลาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณธาตุอาหารพืชสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหมักสับปะรดและสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำหมักปลา เช่น *Aspergillus* sp. *Lactobacillus* sp. และ *Bacillus* sp. ที่สามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอส (protease) ออกมาทำหน้าที่ย่อยโปรตีนส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น และยังผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเทสทำหน้าที่เปลี่ยนธาตุฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (โสพส, 2559) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในฟางข้าวหลังหมักอาจเป็นสาเหตุจากการเกิดกระบวนการ Immobilization ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยจากการศึกษาของ Lalremruati and Devi (2021) พบว่าการทำปุ๋ยหมักโดยการหมักเศษอาหารและน้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดก่อนการหมัก เนื่องจากน้ำหมักปลามีกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้โดยอิสระ เช่น *Azotobacter* ที่สามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มีอากาศ และ *Clostridium* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ไม่มีอากาศ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) นอกจากนี้

อาจเป็นได้ว่ากรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักของน้ำหมักชีวภาพในสภาพที่มีออกซิเจน เช่น กรดแลคติกจะปลดปล่อย H^+ ออกมาซึ่งช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของ NH_3 ได้ (Nie *et al.,* 2020) อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวที่เพิ่มขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ พันธ์ทิพย์ และปฐมพร (2561) ที่พบว่าการทำปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวเพิ่มขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 1.03-2.22% ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสสอดคล้องกับการศึกษาของ Li *et al.* (2019) ที่พบว่าการผลิตปุ๋ยหมักมูลสุกรร่วมกับฟางข้าวโพด โดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ผสม (*Acinetobacter pittii*, *Bacillus subtilis* sub sp. *Stercoris* และ *Bacillus altitudinis*) ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.2-2.6% มากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.8-2.3% ในขณะเดียวกัน กรรมวิธีสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ไม่มีการเจือจางในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวหลังการหมักสูงที่สุด แต่ยังมีปริมาณน้อยกว่าก่อนการหมัก ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีบางส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในฟางข้าวได้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และถูกปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายที่ได้จากการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พันธ์ทิพย์ และปฐมพร (2561) ที่พบว่าการหมักฟางข้าวร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักฟางข้าวลดลงมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.27% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของฟางข้าวก่อนทำการหมักซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.89% เนื่องจากบางส่วนถูกละลายและชะล้างสูญเสียไปในขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก ในขณะที่การใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวลดลง เนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ทำให้แมกนีเซียมในฟางข้าวถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในส่วนของสารละลายเพิ่มขึ้น

Table 2 Influence of bio-extracts on the changes of plant nutrients in rice straw after 12 weeks incubation

Treatments	Total-N (%)	Total-P (%)	Total-K (%)	Total-Ca (%)	Total-Mg (%)
Bio-extract types (A)					
Fish (BF)	1.49^{a}	1.11^{a}	2.46^{b}	6.43^{a}	1.0^{a}
Pineapple (BP)	0.90^{c}	0.90^{b}	1.50^{c}	0.80^{c}	0.46^{b}
Microbial Activators PD2 (BM)	1.09^{b}	0.21^{c}	2.95^{a}	1.93^{b}	1.27^{a}
Bio-extract conc. (B)					
stock (C1)	1.32^{a}	0.88^{a}	3.42^{a}	4.25^{a}	1.38^{a}
-10 (C2)	1.13^{b}	0.61^{b}	2.36^{b}	2.43^{b}	0.86^{b}
-15 (C3)	1.03^{c}	0.71^{ab}	1.12^{c}	2.46^{b}	0.49^{c}
Rice straw: Bio-extract (C)					
1:10 (R1)	1.18	0.81	2.59^{a}	3.79^{a}	1.10^{a}
1:25 (R2)	1.14	0.67	2.01^{b}	2.31^{b}	0.72^{b}
F-test					
A	*	*	*	*	*
B	*	*	*	*	*
C	ns	ns	*	*	*
A × B	*	*	*	*	*
A × C	ns	ns	ns	*	ns
B × C	*	*	*	*	*
A × B × C	*	*	*	*	*

Table 2 Influence of bio-extracts on the changes of plant nutrients in rice straw after 12 weeks incubation (Cont.)

Treatments	Total-N (%)	Total-P (%)	Total-K (%)	Total-Ca (%)	Total-Mg (%)
BFC1R1	1.96^{a}	2.16^{a}	4.67^{b}	-	2.12^{b}
BFC1R2	1.40^{bc}	0.30^{ef}	2.59^{de}	2.67^{d}	0.58^{def}
BFC2R1	1.42^{bc}	0.28^{ef}	2.43^{def}	2.58^{de}	0.58^{def}
BFC2R2	1.53^{b}	1.29^{b}	2.61^{de}	6.54^{a}	0.91^{de}
BFC3R1	1.22^{cd}	1.36^{b}	1.25^{hij}	7.10^{a}	1.17^{cd}
BFC3R2	1.40^{bc}	1.25^{b}	1.18^{hij}	4.45^{c}	0.63^{def}
BPC1R1	1.01^{e}	1.29^{b}	2.39^{def}	1.29^{fg}	0.48^{def}
BPC1R2	1.01^{e}	1.15^{bc}	2.11^{ef}	0.91^{g}	0.90^{de}
BPC2R1	0.90^{ef}	1.09^{bcd}	1.95^{fg}	0.83^{g}	0.97^{de}
BPC2R2	0.68^{g}	0.66^{def}	1.02^{hij}	0.77^{g}	0.23^{ef}
BPC3R1	0.78^{fg}	0.48^{ef}	0.77^{ij}	0.50^{g}	0.09^{f}
BPC3R2	1.01^{e}	0.74^{cde}	0.75^{j}	0.50^{g}	0.09^{f}
BMC1R1	1.46^{b}	0.19^{f}	5.79^{a}	3.78^{c}	3.27^{a}
BMC1R2	1.06^{de}	0.22^{f}	2.97^{cd}	1.66^{defg}	0.91^{de}
BMC2R1	0.90^{ef}	0.21^{f}	2.62^{de}	1.36^{fg}	0.66^{def}
BMC2R2	1.34^{bc}	0.16^{f}	3.51^{c}	2.50^{def}	1.80^{bc}
BMC3R1	0.95^{ef}	0.21^{f}	1.44^{gh}	1.44^{efg}	0.56^{def}
BMC3R2	0.80^{fg}	0.24^{f}	1.36^{hi}	0.77^{g}	0.40^{def}
CV. (%)	9.46	35.37	14.06	21.72	44.74

Remarks: * = Significantly different at $p<0.05$; ns = Nonsignificant; Means in each column followed by different letters indicate significant differences using DMRT (Duncan's new multiple range test) at $p<0.05$

Table 3 Influence of bio-extracts on plant nutrient release from rice straw to solution

Treatments	Total-N (%)	Total-P (%)	Total-K (%)	Total-Ca (%)	Total-Mg (%)
Bio-extract types (A)					
Fish (BF)	0.14^{a}	0.04^{a}	0.48^{b}	0.02^{b}	0.03^{b}
Pineapple (BP)	0.01^{c}	0.005^{c}	0.13^{c}	0.01^{c}	0.005^{c}
Microbial Activators PD2 (BM)	0.09^{b}	0.009^{b}	0.55^{a}	0.03^{a}	0.15^{a}
Bio-extract conc. (B)					
Stock (C1)	0.12^{a}	0.02^{b}	0.58^{a}	0.02^{b}	0.07^{b}
-10 (C2)	0.11^{b}	0.03^{a}	0.47^{b}	0.03^{a}	0.10^{a}
-15 (C3)	0.02^{c}	0.006^{c}	0.11^{c}	0.01^{c}	0.01^{c}

Table 3 Influence of bio-extracts on plant nutrient release from rice straw to solution (Cont.)

Treatments	Total-N (%)	Total-P (%)	Total-K (%)	Total-Ca (%)	Total-Mg (%)
Rice straw: Bio-extract (C)					
1:10 (R1)	0.09	0.02	0.42^{a}	0.02	0.05^{b}
1:25 (R2)	0.08	0.02	0.36^{b}	0.02	0.07^{a}
F-test					
A	*	*	*	*	*
B	*	*	*	*	*
C	ns	ns	*	ns	*
A × B	*	*	*	*	*
A × C	ns	ns	*	*	*
B × C	*	*	*	*	*
A × B × C	*	*	*	*	*
BFC1R1	0.40^{a}	0.09^{b}	1.23^{b}	0.06^{b}	0.04^{d}
BFC1R2	0.04^{d}	0.01^{def}	0.26^{e}	0.02^{def}	0.01^{e}
BFC2R1	0.04^{d}	0.008^{ef}	0.21^{efg}	0.02^{de}	0.01^{e}
BFC2R2	0.34^{b}	0.11^{a}	0.99^{d}	0.01^{g}	0.09^{c}
BFC3R1	0.03^{d}	0.01^{cde}	0.12^{hijkl}	0.007^{g}	0.006^{e}
BFC3R2	0.02^{d}	0.007^{ef}	0.08^{jkl}	0.007^{g}	0.007^{e}
BPC1R1	0.03^{d}	0.005^{ef}	0.18^{efghi}	0.008^{g}	0.009^{e}
BPC1R2	0.02^{d}	0.008^{ef}	0.20^{efgh}	0.007^{g}	0.005^{e}
BPC2R1	0.02^{d}	0.005^{f}	0.16^{fghij}	0.02^{d}	0.004^{e}
BPC2R2	0.01^{d}	0.007^{ef}	0.11^{ijkl}	0.006^{g}	0.008^{e}
BPC3R1	0.006^{d}	0.005^{f}	0.07^{kl}	0.008^{g}	0.002^{e}
BPC3R2	0.005^{d}	0.001^{f}	0.06^{l}	0.01^{g}	0.002^{e}
BMC1R1	0.21^{c}	0.02^{cd}	1.36^{a}	0.04^{c}	0.34^{b}
BMC1R2	0.04^{d}	0.004^{f}	0.25^{e}	0.01^{g}	0.02^{de}
BMC2R1	0.03^{d}	0.005^{f}	0.24^{ef}	0.01^{g}	0.02^{de}
BMC2R2	0.20^{c}	0.02^{c}	1.11^{c}	0.12^{a}	0.49^{a}
BMC3R1	0.02^{d}	0.004^{f}	0.19^{efghi}	0.009^{g}	0.03^{de}
BMC3R2	0.02^{d}	0.004^{f}	0.15^{ghijk}	0.01^{fg}	0.02^{e}
CV. (%)	0	26.88	11.53	16.51	0

Remarks: * = Significantly different at $p<0.05$; ns = Nonsignificant; Means in each column followed by different letters indicate significant differences using DMRT (Duncan's new multiple range test) at $p<0.05$

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าชนิดของน้ำหมักชีวภาพความเข้มข้น และอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในฟางข้าวที่ผ่านการหมัก 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่ากรรมวิธีการใช้น้ำหมักปลาที่ไม่เจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวหลังหมักเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 1.96 และ 2.16% ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีการใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ไม่มีการเจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในฟางข้าวหลังหมักสูงที่สุด เท่ากับ 5.79 และ 3.27%

ในส่วนของการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากฟางข้าวสู่สารละลายหลังการหมัก 12 สัปดาห์ พบว่ากรรมวิธีที่ใช้น้ำหมักปลาที่ไม่มีการเจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนในสารละลายเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 0.40% กรรมวิธีที่ใช้น้ำหมักปลาเจือจาง 10 เท่า ในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักปลา 1:25 ทำให้มีฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 0.11% ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ไม่มีการเจือจาง และเจือจาง 10 เท่า ในอัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 และ 1:25 ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 1.36 0.12 และ 0.49% ตามลำดับ

ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถชี้ให้เห็นว่า สูตรการหมักฟางข้าวที่ใช้น้ำหมักปลาที่ไม่เจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 เป็นสูตรที่ทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารพืชหลัก คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สูงที่สุด ในขณะที่สูตรการใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ไม่มีการเจือจาง อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1:10 เป็นสูตรที่ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุอาหารพืชรอง คือ โพแทสเซียม และแมกนีเซียม สูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากแหล่งทุนสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการทดสอบและพัฒนาเทคโนโลยีระบบการปลูกพืชหลังนาในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. คู่มือการพัฒนาที่ดิน สำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2554. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บังอร อุบล ชัยสิทธ์ ทองจู จุฑามาศ ร่มแก้ว และศุภชัย อำคา. 2559. ผลของการจัดการตอซังข้าวร่วมกับการเตรียมดินและชนิดของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตผลผลิตข้าว และสมบัติของดินบางประการ. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 3(2): 39-49.

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก และปฐมพร น้อยจันทร์. 2561. การศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 37(5): 647-658.

วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์ และนุษรา สินบัวทอง. 2556. การปรับสภาพฟางข้าวทางเคมีเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักนิเทศและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน. 2550. การขยายเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1 พด.2 พด.3 ของกรมพัฒนาที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

โสพส แซ่ลิ้ม. 2559. ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. แหล่งข้อมูล http: //www1.ldd.go.th/WEB_PSD/Employee%20Assessment/wean/pch/pch38/3.pdf (28 พฤศจิกายน 2562).

อนุสรา สมรัก. 2560. ความรู้และการปฏิบัติของเกษตรกรผู้เข้าอบรมการลดการเผาตอซังพืช ในอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อัจฉรา เพิ่ม อัสมา มาลินี และ ฮุสนา ดอเลาะ. 2561. ฤทธิ์ของน้ำหมักชีวภาพจากสับปะรด มะเขือเทศ ผลยอ และผลไม้รวมในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella*

Typhimurium. รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, บุรีรัมย์. น. 1,093-1,101.

อัจฉราวดี เครือภักดี. 2552. ผลของการเตรียมดิน การใช้ตอซังและปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อผลผลิตข้าวอินทรีย์และพลวัตของอินทรีย์คาร์บอนในดินนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

AOAC. 1980. Official Methods of Analysis of AOAC. Available: https://archive.org/details/gov.law.aoac.methods.1980/page/n775/mode/2up (August 30, 2020).

Lalremruati M. and A.S. Devi. 2021. Changes in physico-chemical properties during composting of three common household organic solid wastes amended with garden soil. Bioresource Technology Reports. 15: 1-7.

Li C., H. Li, T. Yao, M. Su, F. Ran, B. Han, J. Li, X. Lan, Y. Zhang, X, Yang and S. Gun. 2019. Microbial inoculation influences bacterial community succession and physicochemical characteristics during pig manure composting with corn straw. Bioresource Technology. 289: 1-11.

Nie, E., G. Ding and Z. Guodi. 2020. Effects of lactic acid on modulating the ammonia emissions in co-composts of poultry litter with slaughter sludge. Bioresource Technology. 315: 1-10.

Romasanta, R.R., B.O. Sander, Y.K. Gaihre, M.C. Alberto, M. Gummert, J. Quilty, V.H. Nguyen, A.G. Castalone, C. Balingbing, J. Sandro, T.C. Jr and R. Wassmann. 2017. How does burning of rice straw affect CH_4 and N_2O emissions? A comparative experiment of different on-field straw management practices. Agriculture, Ecosystems and Environment. 239: 143-153.