วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน | Agriculture & Technology RMUTI Journal
ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2568 | Vol.6 No.3 September – December 2025

Received: March 13, 2025; Revised: March 24, 2025; Accepted: May 20, 2025

การใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง
Application of coating urea fertilizer by natural rubber with rice flour on the *Ipomoea aquatica* growth

สิริวิมล ขุนภักดี[1] ณรงค์ เชื่องชยะพันธุ์[1] วรรณรัตน์ เชื่องชยะพันธุ์[1] และสุรพล ฐิติธนากุล[2*]
Siriwimon Kunphakdee[1], Narong Chueangchayaphan[1], Wannarat Chueangchayaphan[1] and Suraphon Thititthanakul[2*]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
[1]Faculty of Science Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani Province
[2]คณะนวัตกรรมการเกษตร ประมง และอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
[2]Faculty of Innovative Agriculture, Fisheries and Food, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani Province
[*]Corresponding Author E-mail Address : suraphon.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ปุ๋ยยูเรียมีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูงแต่สูญเสียไปกับการชะล้างของน้ำ และการระเหิดได้ง่าย ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียปุ๋ยยูเรีย การทดลองนี้ได้ทำการเคลือบปุ๋ยยูเรียโดยการนำยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) กราฟต์โคพอลิเมอร์ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า (Rice Flour; RF) ในอัตราส่วน NR:RF [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] ให้เป็นปุ๋ยละลายช้าและนำไปทดสอบปลูกผักบุ้งจีน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 1 แปลง ขนาดแปลง 1.2x2 ตารางเมตร และให้ปุ๋ย 7 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ไม่มีการให้ปุ๋ยยูเรีย วิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรียน้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 วัน วิธีที่ 3 แบ่งใส่ปุ๋ยยูเรีย 2 ครั้ง ครั้งละ 15 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 และ 17 วัน วิธีที่ 4 5 6 และ 7 ใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] น้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง ตามลำดับ หลังจากปลูก 7 วัน พบว่าการเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตรา [50:50] เป็นสัดส่วนที่เคลือบเม็ดปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีปัญหาเหนียวติดของเม็ดปุ๋ยหลังการเคลือบ ทำให้ไม่เกิดรูรั่วหรือช่องว่างที่ผิวเคลือบเม็ดปุ๋ย ส่งผลให้มีการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียช้าที่สุดเมื่อทดสอบนำไปแช่น้ำ การใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบทุกสูตรปลูกผักบุ้ง ทำให้ต้นผักบุ้งมีการเจริญเติบที่ดี ไม่แตกต่างจากการแบ่งใส่ปุ๋ย 15 กรัม สองครั้ง โดยเฉพาะปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร [50:50] ทำให้ผักบุ้งมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักสัดส่วนเหนือดินสูงที่สุดและลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากดิน

คำสำคัญ: ไนโตรเจน ปุ๋ยยูเรีย ผักบุ้ง ปุ๋ยละลายช้า กราฟต์โคพอลิเมอร์

Abstract

Urea fertilizer is widely used for cropping due to its high nitrogen content. However, it is easy to lost to environment through water leaching and sublimation processes. Therefore, this study explored slow-release urea fertilizer by coating with natural rubber (NR) grafted copolymer with rice flour (RF) in various proportions. The proportions of natural rubber (NR) and rice flour (RF) were [100:0], [90:10], [70:30] and

[50:50]. Release profile of the coated urea was tested on Chinese water spinach (*Ipomoea aquatica*) cropping. Complete random design (CBD) was adopted for the experiment with 5 replicates of 1.2 x 2 m^2 plot per treatment. Seven treatments were investigated for fertilizer application: Treatment 1: Control (No urea application), Treatment 2: Urea 30 (applying 30 g/plot after 7 days of planting), Treatment 3: Urea 15+15 (applying urea 2 times, 15 g each after 7 and 17 days of planting) and Treatment 4 to Treatment 7, the plots were applied with [100:0], [90:10], [70:30], and [50:50] coated urea, 30 g each after 7 days of planting, respectively. Efficacy of the coating and the resistance to urea release showed that the [50:50] coated urea was well-formed, with no stickiness, surface holes, or gaps, resulting in the slowest release during water soaking. There was no difference in growth indicators for plant which was applied with either Urea 15+15 or coated urea fertilizer. However, the finding in plant applied with the coated [50:50] urea suggested that coated urea could provide the best yields (highest height and above-ground fresh weight) and be able to decrease N loss in soil.

Keywords: Nitrogen, Urea fertilizer, Chinese water spinach, Slow-release fertilizer, Grafted copolymer

บทนำ

ธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2557-2561 การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมีสัดส่วนสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะ ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต เนื่องจากใช้ได้กับพืชทุกชนิดทั้งนาข้าว พืชไร่ ไม้ผล รวมทั้งพืชผักชนิดต่าง ๆ เช่น ผักกาดขาว ผักคะน้า และผักบุ้งจีนที่มีความต้องการธาตุไนโตรเจนสูง (Tanpaiboon, 2017) ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 มีไนโตรเจนถึง 46 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นปุ๋ยที่มีสมบัติในการดูดความชื้นสูงทำให้ปุ๋ยละลายอย่างรวดเร็วพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีแต่ก็ทำให้ปุ๋ยยูเรียสูญเสียไปกับชะล้างเกิดการสูญเสียปุ๋ยไปโดยเปล่าประโยชน์ (Pringphro & Kulnit, 2018) เกษตรกรสามารถลดการสูญเสียไนโตรเจนและเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยยูเรียได้โดยการแบ่งใส่หลายครั้ง ให้ปุ๋ยแก่พืชในช่วงเวลาที่เหมาะสมหรือใช้ปุ๋ยละลายช้า (Slow–Release Fertilizers; SRF)

ปุ๋ยละลายช้ามีสมบัติการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาช้ากว่าปุ๋ยเคมีทั่วไป เนื่องจากมีสารเคลือบห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยอยู่ด้านนอก โดยกระบวนการทำงานของปุ๋ยละลายช้าใช้วิธีการแพร่ผ่านของไอน้ำเข้าไปแทนที่ในช่องว่างของเม็ดปุ๋ยและดันเอาธาตุอาหารใต้ชั้นผิวเคลือบออกมาผ่านทางช่องรูพรุนของชั้นผิวเคลือบ ดังนั้นวัสดุเคลือบผิว ต้องมีความสามารถในการรับน้ำและแพร่ผ่านไอน้ำเข้าไปได้เพื่อทำให้ปุ๋ยละลายและแพร่ผ่านธาตุอาหารออกไปยังพืชได้ ในอีกทางหนึ่งต้องมีความเหนียวเพื่อจะป้องกันการแตกของเปลือกวัสดุที่ใช้ ในปัจจุบันมีการศึกษาสารเคลือบผิวสำหรับห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยยูเรีย เช่น สารกำมะถัน พอลิสไตรีน (Cho & Lee, 2002) พอลิแลคติกแอซิด (Chen et al., 2008) และพอลิอะคริลาไมด์ (Nakason et al., 2010) แต่วัสดุที่นำมาใช้เคลือบปุ๋ยเหล่านี้ พบว่า มีข้อเสียด้านความเปราะแตกหักง่าย และต้นทุนการผลิตยังคงสูงอยู่จึงได้มีการพัฒนานำเอาพลาสติกชีวภาพที่ได้จากแป้ง (Tudorachi et al., 2000; Zhong et al. 2013; Wiriyasunthorn & Sriplang, 2015) มาเป็นวัสดุที่ใช้ในการเคลือบปุ๋ยละลายช้า แต่การใช้แป้งในการเคลือบห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยเพียงอย่างเดียวประสิทธิภาพในการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยไม่ดีพอ เนื่องจากฟิล์มแป้งที่ได้มีสมบัติความแข็งเปราะ มีการบวมน้ำสูงทำให้เกิดการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานจำเป็นต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงข้อด้อยเพื่อให้มีสมบัติเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป (La-or & Asavapisit, 2008) ซึ่งยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในพื้นที่ภาคใต้ (Natural Rubber; NR) และมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีความยืดหยุ่นสูง ทนทานต่อการฉีกขาด (Kongparakul, 2013) จากสมบัติเด่นดังกล่าวยางธรรมชาติจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติพลาสติกชีวภาพที่ได้จากแป้งแต่ความเป็นขั้วที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความเข้ากันได้ต่ำ เพื่อเพิ่มความเข้ากันได้จึงนำแป้งมาทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยยางธรรมชาติโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Riyajan et al. 2012) ทำให้ได้พอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้มีส่วนประกอบทั้งที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ร่วมอยู่ด้วยกันจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบเพื่อควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียและผิวเคลือบสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียปุ๋ยยูเรียในการปลูกผักบุ้งโดยการใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้า

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้า

เตรียมสารเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้า 4 อัตราส่วน คือ ยาง:แป้งข้าวเจ้า (NR:RF) ในอัตราส่วน [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] (Table 1) โดยการกวนแป้งข้าวเจ้าในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที (จนกลายเป็นแป้งเปียก) หลังจากนั้นปรับลดอุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส แล้วนำ 1% โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8 มิลลิลิตร ใส่ลงไปกวนเป็นเวลา 45 นาที เมื่อครบเวลานำ 10% Terric ที่ผสมกับน้ำยางธรรมชาติ (ปริมาณ Terric แปรผันตามปริมาณน้ำยาง น้ำยาง 100 กรัม ใส่ Terric 20 มิลลิลิตร) ผสมรวมกับแป้งข้าวเจ้าและกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำ NR:RF ใส่ในขวดสเปร์ และชั่งปุ๋ยยูเรีย 100 กรัม ใส่ในตะแกรง แล้วฉีด NR:RF ลงบนเม็ดปุ๋ยยูเรีย 10 ครั้ง แล้วร่อน จากนั้นเป่าให้แห้งทำซ้ำอีก 9 ครั้ง

Table 1 Preparation of natural rubber grafted copolymer with rice flour

Ingredient	Proportions of natural rubber (NR) and rice flour (RF) (NR:RF)			
	100:0	90:10	70:30	50:50
60% Natural rubber (g)	100 (60)	90 (54)	70 (42)	50 (30)
Rice flour (g)	0	6	18	30
Water (ml)	0	24	72	120
10% Teric (ml)	20	18	14	10
1% KPS (ml)	8	8	8	8

การทดสอบปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าในการปลูกผักบุ้ง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 1 แปลง โดยมีขนาดแปลง 1.2x2 เมตร ให้ปุ๋ยยูเรียประกอบด้วย 7 วิธี (Table 2) วิธีที่ 1 ไม่มีการให้ปุ๋ยยูเรีย (Control) วิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรียน้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 วัน (Urea 30) วิธีที่ 3 แบ่งใส่ปุ๋ยยูเรีย 2 ครั้ง ครั้งละ 15 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 และ 17 วัน (Urea 15+15) วิธีที่ 4 5 6 และ 7 ใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] น้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง ตามลำดับ หลังจากปลูก 7 วัน

Table 2 Quantity of applied urea fertilizer and urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour for *Ipomoea aquatica* planting

Proportions of natural rubber and rice flour	Quantity of fertilizer (g)	
	7 days	17 days
Control (No urea application)	0	0
Urea 30	30	0
Urea 15+15	15	15
NR:RF [100:0]	30	0
NR:RF [90:10]	30	0
NR:RF [70:30]	30	0
NR:RF [50:50]	30	0

การบันทึกผลการทดลอง

การบันทึกลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยยูเรียเคลือบ การละลายน้ำของปุ๋ยยูเรียเคลือบโดย ใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรแล้วเติมปุ๋ยยูเรีย 10 กรัม จับเวลาจนกว่าปุ๋ยยูเรียจะละลายหมด หรือสังเกตจากสารเคลือบที่หุ้มปุ๋ยจะลอยขึ้นสู่ด้านบน บันทึกผลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนเมื่ออายุ 15 และ 25 วันหลังปลูก ได้แก่ จำนวนใบ ความสูงของส่วนเหนือดิน และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูงจากดิน 1 เซนติเมตร บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน (ต้น และ ใบ) และราก โดยอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำส่วนของพืชวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน ทั้งหมด (Kjeldahl method) เมื่อผักบุ้งจีนอายุ 25 วัน หลังปลูก วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Kjeldahl method) ก่อนและหลังปลูกผักบุ้งจีน 25 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistic (Version 23.0) แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

จากภาพตัดขวางของปุ๋ยยูเรียที่ผ่านการเคลือบ (Figure 1) พบว่า ความหนาของเยื่อหุ้มปุ๋ยยูเรียที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] มีความหนาใกล้เคียงกันของเยื่อหุ้มที่ประมาณ 0.25 มิลลิเมตร การละลายของปุ๋ยยูเรียในน้ำ พบว่าปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [50:50] ใช้ระยะเวลาในการละลายช้าที่สุด 14.922±1.203 นาที รองลงมาคืออัตราส่วน [70:30] [90:10] [100:0] และยูเรียที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบใช้ระยะเวลา 10.770±1.157 10.236±0.671 10.150±0.335 และ 6.630±0.612 นาที ตามลำดับ (Figure 2)

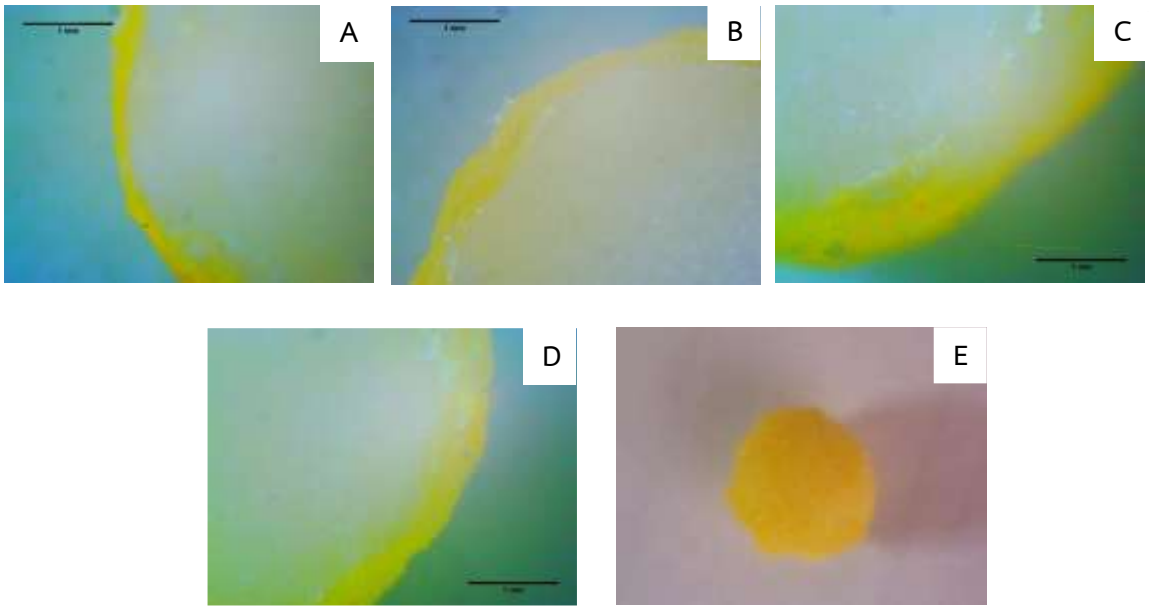

Figure 1 Cross-section of urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour at ratios of [100:0] (A), [90:10] (B), [70:30] (C), [50:50] (D) and coated urea granule (E)

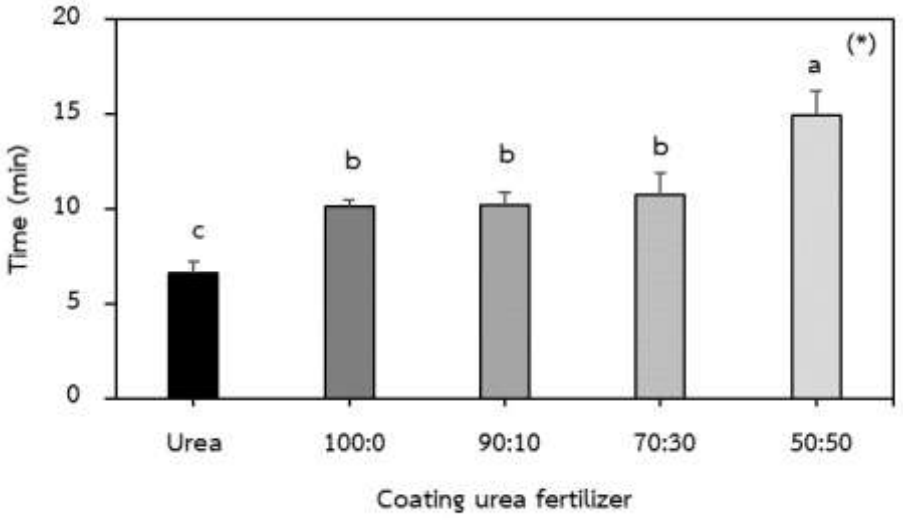

Figure 2 Dissolution time of urea fertilizer and urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour at ratios of [100:0], [90:10], [70:30] and [50:50]

การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนหลังจากปลูก 15 วัน จำนวนใบ ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3-5 ใบ 21-24 เซนติเมตร และ 2-4 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 3) หลังจากปลูกผักบุ้งจีน 25 วัน การเจริญเติบโตมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียทุกวิธีมีการเจริญเติบโตดีกว่าผักบุ้งจีนที่ไม่ได้รับปุ๋ยยูเรีย (Control) โดยเฉพาะผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] มีการเจริญเติบโตจำนวนใบ ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ดีกว่า ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียครั้งเดียว (Urea 30) และ แบ่งปุ๋ยยูเรียใส่สองครั้ง (Urea 15+15) มีค่า 8 ใบ 50.58 เซนติเมตร และ 6.58 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 3)

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีน (Table 4) พบว่า ผักบุ้งจีนที่ใส่ปุ๋ยยูเรียทุกวิธีมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมากกว่าผักบุ้งจีนที่ไม่ได้รับปุ๋ยยูเรีย ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบทุกวิธีทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีนส่วนเหนือดิน มีแนวโน้มมากกว่า ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียครั้งเดียว (Urea 30) และ แบ่งปุ๋ยยูเรียสองครั้ง (Urea 15+15) โดยเฉพาะผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีนส่วนเหนือดินสูงสุด มีค่า 9.55 กรัม และ 0.87 กรัม ตามลำดับ แต่ในส่วนของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Table 3 Growth of *Ipomoea aquatica* using urea fertilizer and urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour including number of leaves, plant height, and stem diameter at 15 and 25 days after planting

Proportions of natural rubber and rice flour	15 days			25 days		
	No. of leaves	Height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Height (cm)	Stem diameter (mm)
Control	4.94±0.69	23.07±3.25	3.48±0.37	7.48±0.37	41.15±3.55^{b}	4.69±0.24^{b}
Urea 30	4.90±0.33	21.23±2.66	2.97±0.53	7.76±1.22	44.18±5.27^{ab}	5.16±0.39^{a}
Urea 15+15	5.22±0.42	23.00±3.27	3.28±0.43	7.78±0.55	45.90±3.37^{ab}	5.24±0.23^{a}
NR:RF [100:0]	4.94±0.48	24.29±2.35	3.49±0.21	7.48±0.84	48.50±4.03^{a}	6.06±0.92^{a}
NR:RF [90:10]	4.94±0.42	22.36±1.87	2.96±0.52	8.42±0.66	47.10±4.03^{ab}	5.59±0.30^{a}
NR:RF [70:30]	5.38±0.31	23.08±2.10	3.43±0.20	7.92±0.53	48.52±3.52^{a}	5.37±0.40^{a}
NR:RF [50:50]	5.18±0.15	23.84±2.02	3.29±0.28	8.14±0.98	50.58±2.30^{a}	5.98±0.40^{a}
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*

Note: Values are presented as mean±standard deviation (SD). Different lowercase letters within a column indicate statistically significant differences as determined by SPSS.

* Significant at the 0.05 probability level ($p<0.05$); ns = not significant.

Table 4 Fresh and dry weight yield of the above-ground parts (stem and leaves) and roots of *Ipomoea aquatica* at 25 days after planting

Proportions of natural rubber and rice flour	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Above-ground part	Root	Above-ground part	Root
Control	5.98±0.88^{b}	1.21±0.33	0.58±0.08^{b}	0.17±0.05
Urea 30	7.23±1.62^{ab}	1.51±0.64	0.70±0.15^{ab}	0.18±0.07
Urea 15+15	7.62±1.41^{ab}	1.42±0.19	0.71±0.08^{ab}	0.18±0.02
NR:RF [100:0]	8.54±1.70^{a}	1.50±0.45	0.80±0.13^{a}	0.21±0.05
NR:RF [90:10]	8.77±1.51^{a}	1.66±0.39	0.81±0.09^{a}	0.21±0.06
NR:RF [70:30]	8.16±1.55^{ab}	1.43±0.37	0.79±0.13^{a}	0.21±0.07
NR:RF [50:50]	9.55±2.31^{a}	1.81±0.47	0.87±0.17^{a}	0.22±0.05
F-test	*	ns	*	ns

Note: Values are presented as mean±standard deviation (SD). Different lowercase letters within a column indicate statistically significant differences as determined by SPSS.

* Significant at the 0.05 probability level ($p<0.05$); ns = not significant.

ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและรากมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่า ผักบุ้งที่ใส่ปุ๋ยยูเรียทุกวิธีการทำให้ไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและรากมีความเข้มข้นสูงกว่าต้นที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยยูเรีย โดยเฉพาะผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] มีความเข้มข้น ของธาตุไนโตรเจนส่วนเหนือดินสูงที่สุด 3.61±0.08 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในส่วนรากของผักบุ้งจีนที่แบ่งใส่ปุ๋ยยูเรียสองครั้ง (Urea 15+15) มีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนส่วนรากสูงที่สุด 2.40±0.28 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกับผักบุ้งจีนที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [100: 0] NR:RF [90:10] และ NR:RF [50:50] (Table 5)

Table 5 Nitrogen content of the above-ground parts (stem and leaves) and roots of *Ipomoea aquatica* at 25 days after planting

Proportions of natural rubber and rice flour	Nitrogen content (%)	
	Above-ground part	Root
Control	2.56±0.26^{b}	1.64±0.24^{c}
Urea 30	3.46±0.34^{a}	2.12±0.07^{b}
Urea 15+15	3.47±0.20^{a}	2.40±0.28^{a}
NR:RF [100:0]	3.59±0.26^{a}	2.20±0.13^{ab}
NR:RF [90:10]	3.57±0.27^{a}	2.19±0.21^{ab}
NR:RF [70:30]	3.43±0.07^{a}	2.10±0.13^{b}
NR:RF [50:50]	3.61±0.08^{a}	2.19±0.17^{ab}
F-test	*	*

Note: Values are presented as mean±standard deviation (SD). Different lowercase letters within a column indicate statistically significant differences as determined by SPSS.

* Significant at the 0.05 probability level ($p<0.05$); ns = not significant.

ความเข้มข้นไนโตรเจนในดินก่อนเริ่มปลูกผักบุ้งจีนและหลังการทดลอง พบว่า ดินในแต่ละแปลงก่อนเริ่มปลูกผักบุ้งจีนมีไนโตรเจนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่า 0.082-0.094 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นไนโตรเจนในดินหลังการทดลองปลูกผักบุ้งจีนมีไนโตรเจนแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ดินที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนคงเหลือในดินสูงที่สุด มีค่า 0.081 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [100: 0] NR:RF [90:10] และ NR:RF [70:30] ดินมีไนโตรเจนคงเหลืออยู่ในดินหลังการทดลองไม่แตกต่างกับการแบ่งใส่ปุ๋ยยูเรียสองครั้ง (Urea 15+15) มีค่าระหว่าง 0.074-0.076 เปอร์เซ็นต์ แต่มีไนโตรเจนคงเหลืออยู่ในดินหลังการทดลอง สูงกว่าการใส่ยูเรียเพียงครั้งเดียว (Urea 30) และดินที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยยูเรีย (Figure 3)

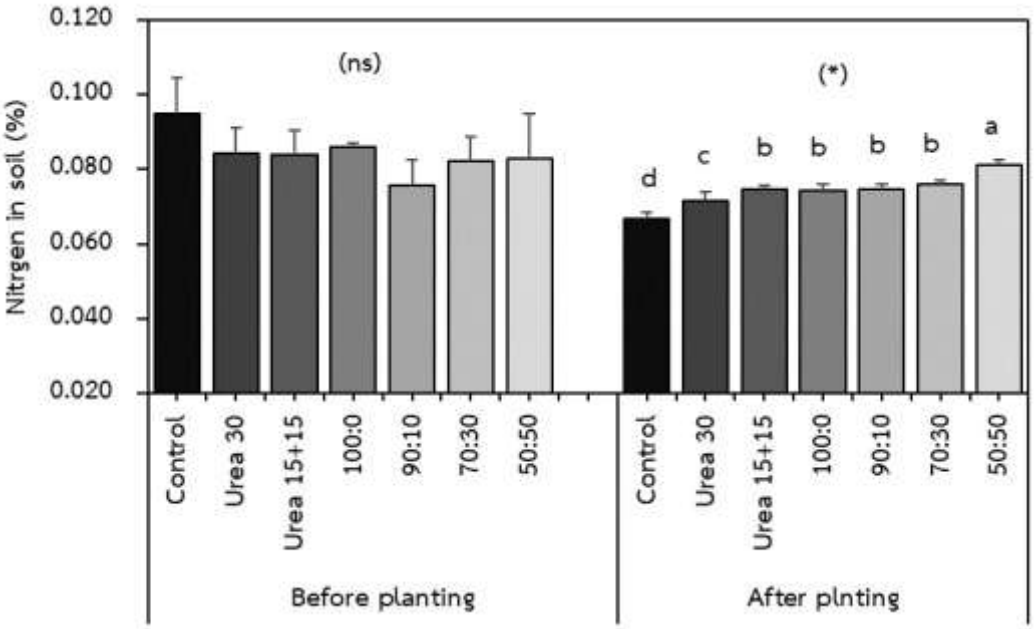

Figure 3 Nitrogen content of soil before and after the experiment

การอภิปรายผล

จากการศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้านำมาใช้เคลือบปุ๋ยยูเรียเพื่อลดอัตราการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยยูเรีย โดยศึกษาปริมาณสัดส่วนน้ำยางธรรมชาติ:แป้งข้าวเจ้า ที่ทำการเคลือบปุ๋ยยูเรียทั้ง 4 สูตร คือ [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] สามารถทำให้ปุ๋ยยูเรียละลายในน้ำได้ช้าลง เนื่องจากคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีความยืดหยุ่นสูง ทนทานต่อการฉีกขาดและการหักงอ เมื่อรวมเข้ากับแป้งซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) มีความแข็งเปราะ มีการบวมน้ำสูงทำให้เกิดการพองตัวเมื่อได้รับความชื้น เมื่อยางธรรมชาติและแป้งรวมเข้าด้วยกันด้วยปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Riyajan et al. 2012) ทำให้ได้พอลิเมอร์ชีวภาพที่มีส่วนประกอบทั้งที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ ร่วมอยู่ด้วยกัน และกลายสภาพเป็นยางที่แข็งเปราะ (Kongparakul, 2013) จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบ ดังนั้นปริมาณสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ผิวเคลือบมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำและแพร่น้ำผ่านได้ดี ปุ๋ยยูเรียควรที่จะละลายออกมาได้เร็ว แต่กลับพบว่า เมื่อใช้สัดส่วนของแป้งเพิ่มมากขึ้น ปุ๋ยยูเรียเคลือบ [50:50] ละลายได้ช้ากว่าการเคลือบปุ๋ยยูเรียที่มีสัดส่วนของยางธรรมชาติสูงได้แก่ [100:0] [90:10] และ [70:30] เนื่องจากลักษณะของผิวเคลือบปุ๋ยที่มีสัดส่วนยางธรรมชาติที่สูง ผิวเคลือบจะเหนียวติดกันทำให้เมื่อแยกเม็ดปุ๋ยที่เคลือบออกจากกันจะเกิดรูรั่วหรือช่องว่างในผิวเคลือบเม็ดปุ๋ย น้ำจึงผ่านเข้าไปละลายปุ๋ยยูเรียได้โดยตรง

การทดสอบใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยน้ำยาง:แป้งข้าวเจ้า สัดส่วน [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] ปลูกผักบุ้งจีน ทำให้ต้นผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบที่ดี ไม่แตกต่างจากการแบ่งใส่ปุ๋ย 15 กรัม สองครั้ง (Urea 15+15) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติ:แป้งข้าวเจ้า ทั้ง 4 สูตร เมื่อใส่ลงดินจะมีการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนอย่างช้า ๆ ให้กับต้นผักบุ้งใช้ในการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับการแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้การใช้ปุ๋ยเคลือบสามารถลดต้นทุนค่าแรงงานในการใส่ปุ๋ยลงได้ โดยเฉพาะปุ๋ยยูเรียเคลือบน้ำยางธรรมชาติ:แป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [50:50] ทำให้ผักบุ้งมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักสดส่วนเหนือดินสูงที่สุด การปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยยูเรียเคลือบเริ่มจาก ไอน้ำหรือน้ำแพร่ผ่านวัสดุเคลือบผิว เมื่อไอน้ำเข้าไปอยู่ภายในชั้นผิวเคลือบก็จะแทรกตัวอยู่ในช่องว่าง 2 ส่วน คือ รูพรุนภายในเนื้อปุ๋ยและช่องระหว่างผิวเคลือบกับปุ๋ย จนกระทั่งช่องว่างทั้งหมดมีของเหลวบรรจุอยู่เต็ม ปุ๋ยส่วนที่อยู่ใกล้ผิวเคลือบเริ่มละลาย แรงดันภายในเม็ดปุ๋ยสูงขึ้น สารละลายปุ๋ยจะเกิดการแพร่ปลดปล่อยออกมาภายนอก (Hummel, 1989; Hakeem et al, 2011; Kuhathamrakun & Saengsuwan,

2017) ปุ๋ยยูเรียเคลือบน้ำยางธรรมชาติ:แป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [50:50] ลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากดิน ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และการชะล้างในรูปของไนเตรท (Nitrate leaching) (Pringphro & Kulnit, 2018) ทำให้ดินหลังปลูกผักบุ้งจีนยังคงมีไนโตรเจนที่สูงกว่าการให้ปุ๋ยยูเรียด้วยวิธีการต่าง ๆ นอกจากนั้น ผิวเคลือบที่พัฒนาจากน้ำยางธรรมชาติกราฟต์แป้งข้าวเจ้าแสดงคุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในดินได้ (Tokiwa et al., 2009; Wiriyasunthorn & Sriplang, 2015)

บทสรุป

จากการทดลองการใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง พบว่า การเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วนน้ำยางต่อแป้ง [50:50] เป็นสัดส่วนที่สามารถเคลือบเม็ดปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีปัญหาเหนียวติดของเม็ดปุ๋ยหลังการเคลือบ และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการปลูกผักบุ้งทำให้ผักบุ้งมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักสดส่วนเหนือดินสูงที่สุด และลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากดิน

กิตติกรรมประกาศ

ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากทุนวิจัยเพื่อสร้างฐานองค์ความรู้ขั้นสูงด้านยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

เอกสารอ้างอิง

Chen, L., Xie, Z., Zhuang, X., Chen, X., & Jing, X. (2008). Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly(L-lactide). *Carbohydrate Polymers*, *72*(2), 342-348. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.003

Cho, C. G., & Lee, K. (2002). Preparation of starch-g-polystyrene copolymer by emulsion polymerization. *Carbohydrate Polymers*, *48*(2), 125-130. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00222-3

Hakeem, K. R., Ahmad, A., Iqbal, M., Gucel, S., & Ozturk, M. (2011). Nitrogen-efficient rice cultivars can reduce nitrate pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, *18*(7), 1184-1193. https://doi.org/10.1007/s11356-010-0434-8

Hummel, N. W. J. (1989). Resin-coated urea evaluation for turfgrass fertilization. *Agronomy Journal*, *81*(2), 290-294. https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100020030x

Kongparakul, S. (2013). Technology of natural rubber modification and its applications. *Khon Kaen University Journal of Science*, *41*(3), 567-581. (In Thai)

Kuhathamrakun, N., & Saengsuwan, S. (2017). Controlled-release urea fertilizer for agricultural applications. *Ubon Ratchathani University Journal of Science and Technology*, *19*(3), 32-44. (In Thai)

La-or, P., & Asavapisit, S. (2008). Controlled release of urea from polyethylene/starch-coated urea fertilizer. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *36*(Special issue), 11–18. (In Thai)

Nakason, C., Wohmang, T., Kaesaman, A., & Kiatkamjornwong, S. (2010). Preparation of cassava starch-graft-polyacrylamide superabsorbents and associated composites by reactive blending. *Carbohydrate Polymers*, *81*(2), 348–357. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.030

Pringphro, C., & Kulnit, B. (2018). Effect of coated fertilizer on growth and yield of cereals. *Prawarun Agricultural Journal*, *15*(1), 1–16. (In Thai)

Riyajan, S., Sasithornsonti, Y., & Phinyocheep, P. (2012). Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release. *Carbohydrate Polymers*, *89*(1), 251–258. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.004

Tanpaiboon, N. (2017). Chemical fertilizer industry. Krungsri Research, Business/Industry Outlook 2018–2020. (In Thai)

Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. International *Journal of Molecular Sciences*, *10*(9), 3722–3742. https://doi.org/10.3390/ijms10093722

Tudorachi, N., Cascaval, C. N., Rusu, M., & Pruteanu, M. (2000). Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials. *Polymer Testing*, *19*(7), 785–799. https://doi.org/10.1016/S0142-9418(99)00049-5

Wiriyasunthorn, S., & Sriplang, S. (2015). Preparation of cassava starch/polyvinyl alcohol/montmorillonite nanocomposite for controlled-release fertilizer coating. *Khon Kaen University Journal of Science*, *43*(3), 503–514. (In Thai)

Zhong, K., Lin, Z. T., Zheng, X. L., Jiang, G. B., Fang, Y. S., Mao, X. Y., & Liao, Z. W. (2013). Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *Carbohydrate Polymers*, *92*, 1367-1376. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.030