



รายงานการวิจัย

**การควบคุมการสูญเสียปุ๋ยยูเรียโดยการเคลือบสารไบโอพอลิเมอร์
(Controlled - release urea fertilizer by biopolymeric encapsulation)**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การควบคุมการสูญเสียปุ๋ยยูเรียโดยการเคลือบสารไบโอพอลิเมอร์ (Controlled - release urea fertilizer by biopolymeric encapsulation)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย วนภู

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวสิริมา พิณเพียงจันทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556-2557

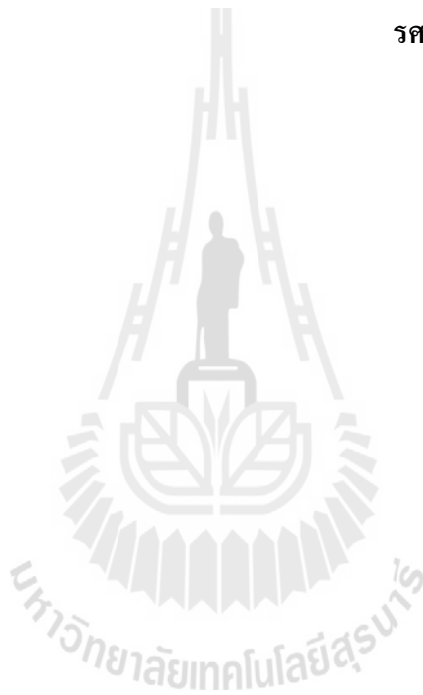
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

กระผมขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และการสนับสนุนด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ บุคลากร และสถานที่ในการดำเนินการวิจัย ครั้งนี้ให้ดำเนินการแล้วเสร็จ และขอขอบคุณ นางสาวสิริมา พิณเพียงจันทร์ ที่ช่วยจัดทำรายงานฉบับนี้ให้สมบูรณ์

รศ.ดร.โชคชัย วนภู



บทคัดย่อ

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญที่สุดสำหรับพืช แต่มากกว่า 60% ของธาตุไนโตรเจนมีการสูญเสียในระหว่างการใช้งานของเกษตรกร การใช้ไบโอพอลิเมอร์นำมาเป็นวัสดุเคลือบปุ๋ยได้รู้จักแพร่หลายในการศึกษาทางการเกษตรมาเป็นเวลาหลายปี และมีความพยายามที่จะนำมาใช้เป็นสารควบคุมการละลายของปุ๋ย การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรียโดยการเคลือบสารไบโอพอลิเมอร์ 2 ชนิดซึ่งแตกต่างกัน คือ สารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) การเคลือบสาร PVA และ PVP สามารถทำได้โดยการพ่นสารละลายลงบนเม็ดปุ๋ยยูเรียในเครื่องหมุนจากการศึกษาการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียหลังการเคลือบ (EUF) โดยใช้กฎของฟิกซ์ (Fick's Law) ซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายพฤติกรรมของการปลดปล่อยของยูเรีย โดยค่า n มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 หมายถึงการปลดปล่อยเป็นแบบ non-Fickian diffusion วัสดุเคลือบทั้ง PVA และ PVP ถูกนำมาใช้ในอัตราส่วน 2:0 (EUF1), 1:0 (EUF2), 1:0.25 (EUF3), 1:0.5 (EUF4), 1:1 (EUF5), และ 1:2 (EUF6) ตามน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่าค่า n มีค่าระหว่าง 0.86-0.98 แสดงถึงเป็นการปลดปล่อยเป็นแบบ strong non-Fickian diffusion ในขณะที่ปุ๋ยยูเรียที่ไม่ถูกเคลือบมีค่า n เท่ากับ 0.70 สรุปได้ว่าปุ๋ยยูเรียเคลือบทุกสูตรมีการปลดปล่อยธาตุอาหารได้เป็นเวลานานกว่าปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ ผลจากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ลักษณะของวัสดุที่เคลือบผิวมีมากกว่าหนึ่งแบบ ได้แก่ ลักษณะแผ่น เข็ม และก้อน จากการศึกษาหุ้มน้ำของตัวอย่างปุ๋ยเคลือบ โดยใช้เครื่อง FT-IR พบว่า ช่วงความยาวคลื่นของปุ๋ยยูเรียที่ถูกเคลือบใกล้เคียงกับปุ๋ยยูเรียที่ไม่ถูกเคลือบ เนื่องมาจากปริมาณของวัสดุเคลือบมีปริมาณน้อยกว่าตัวปุ๋ยยูเรียที่ถูกเคลือบ

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กฎของฟิกซ์ พบว่า ปุ๋ยเคลือบสูตร EUF2 และ EUF3 แสดงค่า n ที่สูงที่สุด จึงนำมาทดสอบการเจริญเติบโตของพืชโดยเปรียบเทียบกับ EUF6 ซึ่งแสดงค่า n น้อยที่สุด โดยวางแผนการทดลองปลูกแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในเรือนปลูกพืช โดยใช้ผักคะน้า (*Brassica alboglabra* Bailey) เป็นพืชทดสอบ ผลสรุปได้ว่า EUF2 และ EUF3 ให้ค่าน้ำหนักต้นสด น้ำหนักรากสด น้ำหนักต้นแห้ง และน้ำหนักรากแห้งสูงกว่าพืชที่ใช้ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสะสมปริมาณไนโตรเจนที่สูงในพืชที่ใช้ปุ๋ยสูตร EUF2, EUF3, EUF6 และยูเรีย ในขณะที่ PVA, PVP และชุดควบคุมมีการสะสมไนโตรเจนปริมาณต่ำกว่า จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยเคลือบสูตร EUF2, EUF3 และ EUF6 สามารถพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรได้เนื่องจากมีการสะสมปริมาณธาตุไนโตรเจนที่สูงหรือช่วยลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนได้

ABSTRACT

Among plant nutrient elements, N is the most important but more than 60% is lost when farmers apply it into soil. Biopolymers have been an emerging field of study in agriculture for many years which are used as fertilizers coating. In this study, biopolymers were used as a nutrient release-controlling material. Urea fertilizer was coated with two different types of biopolymers, which are polyvinyl alcohol (PVA) and polyvinylpyrrolidone (PVP). These biopolymers can reduce the loss of nitrogen from coated fertilizer. The urea granules were sprayed with PVA and PVP solutions in a rotary drum, by varying the ratios per mass 2:0 (EUF1), 1:0 (EUF2), 1:0.25 (EUF3), 1:0.5 (EUF4), 1:1 (EUF5), and 1:2 (EUF6), respectively. To understand the release of the nutrient in the encapsulated urea fertilizer (EUF), a mathematical model of Fick's law was used to predict the releasing behaviors. The n value from 0.5 to 1.0 is a mechanism of nutrient release for non-Fickian diffusion. The results showed that the predicted n values of between 0.86-0.98 illustrated a strong non-Fickian diffusion while un-coated urea was 0.70. It could be concluded that the high n value refers to the longer nutrient release that benefits plant absorption. The morphology of granules was observed by using scanning electron micrographs, which illustrated the characteristics of coating materials. It was found that there were more than one form, including plates, needles, and bundles. Determination of the chemical functional groups in the sample was performed using FT-IR spectroscopy. The spectrum of the blend was similar to the spectrum of urea. This might be because the amount of coating materials was markedly smaller than that of solid pure urea.

According to the mathematical model of Fick's law from previous experiment, EUF2 and EUF3 showed the highest n value, so they were used to evaluate plant growth parameters as compared with EUF6 which showed the lowest n value. Pots were arranged in a completely randomized design in the greenhouse. The EUF2, EUF3, and EUF6 were used as the fertilizer for Chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey) cultivation. EUF2 and EUF3 showed the highest stem fresh weight, root fresh weight, stem dry weight, and root dry weight over plants with urea and the control. The high N accumulation in plant was found in EUF2, EUF3, EUF6, and urea, whereas PVA, PVP, and the control showed low N accumulation. This indicates that EUF2, EUF3, and EUF6 could improve agricultural products due to high N accumulation or less N loss.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
ขอบเขตของการวิจัย	6
ผลการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	7
การเตรียมเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย	7
ศึกษาพฤติกรรมการไหล (slow release) ของปุ๋ยยูเรียในทราย	8
วิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำของเม็ดปุ๋ยเคลือบไปโอพอลิเมอร์.....	8
วิเคราะห์โครงสร้างภายนอกของปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่างๆ.....	8
วิเคราะห์หาหมู่ functional ด้วยเครื่อง FT-IR.....	8
ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยในกระถางปลูก.....	9
บทที่ 3 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	10
ผลการทดลองของการศึกษาพฤติกรรมการปลดปล่อยยูเรีย.....	10
ผลการทดลองของการวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำของเม็ดปุ๋ยเคลือบ.....	11
ผลการทดลองการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุที่ใช้เคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรียโดยใช้ เครื่องมือ scanning electron microscopy (SEM)	13
ผลการวิเคราะห์หาหมู่ functional ด้วยเครื่อง FT-IR.....	15
ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชโดยการใส่ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบ และ เคลือบด้วยสารไปโอพอลิเมอร์ PVA และ PVP	19

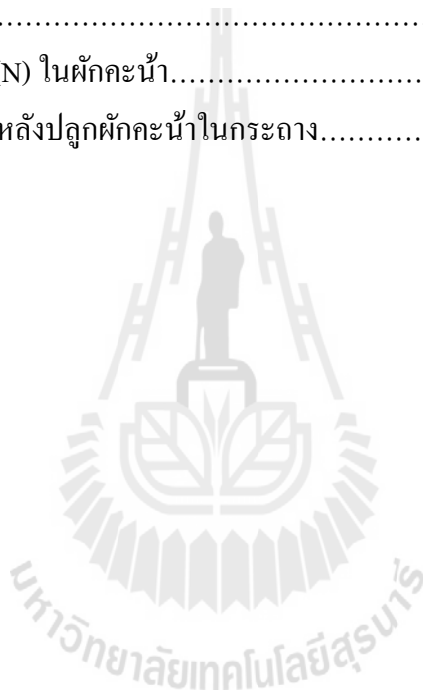
บทที่ 4 บทสรุป

สรุปผลการวิจัย	24
ข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ประวัติผู้วิจัย	29



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงสูตรปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆกัน.....	7
ตารางที่ 2 แสดงค่า n , K , และ r^2 ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์.....	11
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดินต่างๆก่อนปลูกผักคะน้าในกระถาง	19
ตารางที่ 4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นและรากของคะน้า โดยเทียบกับการใส่ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์	20
ตารางที่ 5 ความยาวลำต้น ราก และพื้นที่ใบ โดยเทียบกับการใส่ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์.....	21
ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ในผักคะน้า.....	21
ตารางที่ 7 คุณสมบัติของดินต่างๆ หลังปลูกผักคะน้าในกระถาง.....	23



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์	3
รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของโพลีไวนิลไพโรลิโดน หรือ PVP.....	4
รูปที่ 3 แสดงลำดับชั้นของสารแต่ละชนิดที่นำมาเคลือบเม็ดปุ๋ย	7
รูปที่ 4 ทดสอบพฤติกรรมกรรมการไหลของปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ ปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร EUF1 และ EUF2	10
รูปที่ 5 ทดสอบพฤติกรรมกรรมการไหลของปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ ปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร EUF3 EUF4 EUF5 และ EUF6.....	10
รูปที่ 6 พฤติกรรมการดูดซับน้ำของทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF1, EUF2 และชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยเคลือบ)	12
รูปที่ 7 พฤติกรรมการดูดซับน้ำของทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF3, EUF4, EUF5, EUF6 และชุดควบคุม(ไม่ใส่ปุ๋ยเคลือบ).....	12
รูปที่ 8 ภาพอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราดของเม็ดปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์, PVA/PVP (2:0), (EUF1); PVA/PVP (1:0), (EUF2); PVA/PVP (1:0.25), (EUF3); PVA/PVP (1:0.5), (EUF4); PVA/PVP (1:1), (EUF5) and PVA/PVP (1:2), (EUF6) ภาพกำลังขยาย 30 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า.....	14
รูปที่ 9 FT-IR spectra ของปุ๋ยยูเรียที่ 3500-500 cm ⁻¹	15
รูปที่ 10 FT-IR spectra ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่ 3500-500 cm ⁻¹	16
รูปที่ 11 FT-IR spectra ของโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ที่ 3500-500 cm ⁻¹	17
รูปที่ 12 FT-IR spectra ของปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยสารไบโอพอลิเมอร์ (a) PVA/PVP (2:0), (EUF1); (b) PVA/PVP (1:0), (EUF2); (c) PVA/PVP (1:0.25), (EUF3); (d) PVA/PVP (1:0.5), (EUF4); (e) PVA/PVP (1:1),(EUF5) and (f) PVA/PVP (1:2), (EUF6) อัตราส่วนโดยน้ำหนัก.....	18
รูปที่ 13 ค่าน้ำระเหยเก็บเกี่ยว ของชุดการทดลอง (a) ชุดควบคุม; (b) ยูเรีย; (c) EUF2; (d) EUF3; (e) EUF6; (f) Osmocote; (g) PVP และ (h) PVA.....	22

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปุ๋ยยูเรีย (urea) หรือคาร์บาไมด์ (carbamide) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ลักษณะเป็นเม็ดกลมสีขาวละลายน้ำได้ง่าย มีไนโตรเจนสูงประมาณร้อยละ 46 (N:P:K = 46:0:0) ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีราคาต่อหน่วยของไนโตรเจน ถูกที่สุดที่มีขายในประเทศไทย และเป็นปุ๋ยที่มีอัตราการใช้มากที่สุด ณ ปัจจุบันการใส่ปุ๋ยยูเรียโดยทั่วไปมักมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องมาจากมีการสูญเสียได้หลายทาง เช่น การชะล้าง และการสูญเสียทางอากาศ โดยทั่วไปพืชจะนำปุ๋ยยูเรียไปใช้ได้ประมาณ 50% เท่านั้น (Dave et al., 1999; Guo et al., 2005; Liu et al., 2007)

การสูญเสียเกิดได้หลายทางด้วยกัน ดังนี้คือ

1. การสูญเสียธาตุอาหารโดยการชะล้าง ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกต่ำจะมีการสูญเสียธาตุอาหารเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในฤดูฝน ธาตุไนโตรเจนจะสูญเสียในรูปไนเตรทมาก เมื่อฝนตกหนักและน้ำไหลบ่าบนผิวดิน จะมีการสูญเสียปุ๋ยไนเตรทที่ละลายน้ำกับบางส่วนที่ดูดซับกับผิวของคอลลอยด์ในดิน ไนเตรทเหล่านี้จะถูกชะล้างลงไปสะสมในแหล่งน้ำ ธาตุอาหารพืชที่มีการสูญเสียโดยการชะล้างรองลงมาได้แก่ โพแทสเซียม ส่วนฟอสฟอรัสสูญเสียโดยการชะล้างน้อยที่สุด

2. การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซ การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซจากดิน เกิดขึ้นโดย 2 กระบวนการ คือ

2.1 ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นการสูญเสียไนโตรเจนในสภาพที่ใช้ปุ๋ยไนเตรทในดินที่ขาดออกซิเจน ส่วนยูเรียและปุ๋ยแอมโมเนียมนั้น เมื่อถูกเปลี่ยนรูปในดินเป็นไนเตรท และดินนั้นอยู่ในสภาพที่มีน้ำขังหรือมีการขาดแคลนออกซิเจนในภายหลัง ก็จะสูญเสียโดยกระบวนการนี้เช่นกัน

2.2 การระเหยของแอมโมเนียมจากปุ๋ย ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยยูเรียในดินที่เป็นกรดจนถึงเป็นด่าง และปุ๋ยแอมโมเนียมในดินที่เป็นกลางถึงเป็นด่าง เมื่อหว่านปุ๋ยทั้งสองประเภทนี้บนผิวดิน ลักษณะดินที่ส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียแอมโมเนียจากปุ๋ยแอมโมเนียมและยูเรียมากขึ้น ได้แก่ ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกต่ำ ดินเนื้อหยาบ ดินเป็นด่าง และดินที่มีความชื้นในดินต่ำ

ปัจจุบันมีการผลิตปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยหรือปุ๋ยละลายช้าซึ่งปุ๋ยเคมีที่จะบรรจุอยู่ในสารเคลือบพอลิเมอร์ชนิดพิเศษ สารเคลือบชนิดนี้ออกแบบมาให้ปุ๋ยที่บรรจุอยู่ภายในค่อยๆละลายปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานานพอเหมาะกับความต้องการของพืชทำให้พืชได้อาหารอย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงอายุของพืช (Hong and Park, 2000; Kulkarni, Soppimath,

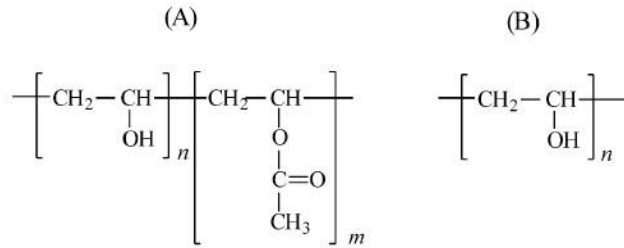
and Aminabhavi, 1999; Kulkarni, Soppimath, & Aminabha, 2000; Kumbar, Kulkarni, Dave, Aminabha, 2001)

ปัจจุบันมีการพัฒนาปรับปรุงวัสดุไบโอพอลิเมอร์เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารในอุตสาหกรรมบ้างแล้ว ซึ่งสารกัมมะถันได้ถูกนำไปใช้สำหรับการเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย แต่ข้อเสียของมันก็คือมีความเปราะแตกหักง่าย จึงมีงานที่พัฒนาต่อเนื่องมาหลากหลายไม่ว่าจะเป็นการใช้ไขมันมาเคลือบผิวอีกชั้นหนึ่งหลังจากที่เคลือบด้วยกำมะถันแล้วเพื่อลดอัตราการปลดปล่อย แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตยังคงมีราคาสูงอยู่ อีกทั้งการใช้ไขมันทำให้เม็ดปุ๋ยเกาะติดกันง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งยากต่อการใช้งาน (Goertz *et al.*, 1993; Choi and Meisen, 1997) มีรายงานการนำแป้ง เซลลูโลส ลิกนิน และไคโตซาน ซึ่งที่กล่าวมานี้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นสารพอลิเมอร์ สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการพอง (swelling property) อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ และที่สำคัญสามารถย่อยสลายตามธรรมชาติอีกด้วย (Farag and Al-Afleq, 2002; Shogren *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2007)

ปัจจุบันการเคลือบปุ๋ยได้พัฒนาคิดค้นเพื่อที่จะป้องกันการสลายของธาตุอาหาร และเพื่อที่จะให้พืชได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ไบโอพอลิเมอร์ถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่ง ดังนั้นการนำปุ๋ยยูเรียมาเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ หรือวัสดุธรรมชาติที่สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารได้จะเป็นการช่วยให้เกิดการใช้น้ำได้อย่างคุ้มค่า พร้อมทั้งเป็นการนำความรู้มาพัฒนาปรับปรุงให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ เกิดขึ้นในวงการเกษตรไทยอีกด้วย

1.2 การทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ Polyvinyl alcohol หรือ PVA ถูกเตรียมขึ้นครั้งแรกโดย Hermann และ Haehnel ในปี 1924 โดยการไฮโดรไลซ์ซึ่งโพลีไวนิลอะซิเตทในเอทานอลกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์คือผลผลิตทางการค้าจากโพลีไวนิลอะซิเตท (Constantin Ciobanu & Claudia Koncsag., 2006) ลักษณะทางกายภาพของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จึงขึ้นอยู่กับวิธีการในการเตรียมตัวอย่าง โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก partially hydrolyzed (A) และ กลุ่มที่สอง fully hydrolyzed (B) แสดงไว้ในรูปที่ 1 ซึ่ง Partially hydrolyzed PVA ถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ : (A) partially hydrolyzed; (B) fully hydrolyzed (DeMerlis, and Schoneker, 2006)

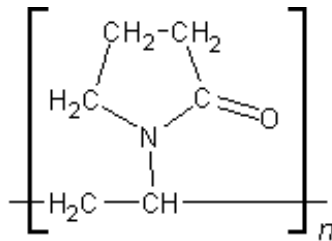
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ทางด้านอาหารมีลักษณะไม่มีกลิ่น และไม่มีรส ลักษณะเป็นแป้งสีขาว หรือครีม ละลายในน้ำได้ดี และละลายได้น้อยในเอทานอล แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยทั่วไป 5 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จะมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 5 ถึง 6.5 จุด หลอมเหลวอยู่ที่ 180 ถึง 190 องศาเซลเซียส น้ำหนักโมเลกุลมีค่าระหว่าง 26,300 และ 30,000, และค่าระดับการย่อยสลาย (degree of hydrolysis) อยู่ที่ 86.5 ถึง 89 เปอร์เซ็นต์

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นตาข่ายมีลักษณะเป็นเจล ซึ่งความเป็นไฮโดรเจลถูกนำมาใช้ทางด้านยา (Aleyamma & Sharma, 1988; Hyon & Ikada, 1986) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์กลุ่มสังเคราะห์ที่ละลายน้ำได้ กัมมีการสร้างแผ่นฟิล์ม ด้วยคุณสมบัติ เป็นสารที่สามารถลดแรงตึงผิวอิมัลซิฟายเออร์ (*emulsifier*) และการเชื่อมติดวัสดุ (*adhesive*) พอลิเมอร์นี้ด้านทานน้ำมัน จาระบี และสารละลาย (Schellekens & Bastiaansen, 1991)

ในอเมริกา การใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่ถูกใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมกระดาษ สารเคลือบถูกนำมาใช้เรื่องความหนาสำหรับกาวและการเกาะติดอื่นๆ ยิปซัม ซีเมนต์ ถูกใช้ในเซรามิก (Isolyser, 1998) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ถูกพัฒนาสำหรับการใช้ในด้าน การแพทย์ที่หลากหลายมากขึ้น เช่น แผ่นปิดผิวหนังเพื่อรักษาแผลเป็น (*transdermal patches*) การเตรียม เจลซึ่งแห้งได้เร็วเมื่อถูกนำมาใช้กับผิวหนัง และการควบคุมการปลดปล่อยยา การเชื่อมต่อสายพอลิเมอร์ของ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ถูกนำมาใช้สำหรับการควบคุมการปลดปล่อยยาทางปาก ยาทางตา เช่น น้ำตาเทียม มีส่วนผสมของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์อยู่ด้วยเนื่องจากให้คุณสมบัติทางการแพร่กระจาย และการเคลือบได้ดี (Wade and Weller, 1994) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าสมบัติการละลาย การสลาย ซึ่งนำไปสู่การเป็น ปัญหาของสิ่งแวดล้อมที่ต่ำ นอกจากนี้การเชื่อมสายพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของมอนอเมอร์ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์แต่ละหน่วยด้วยโมเลกุลของน้ำซึ่งช่วยในการละลายของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ในน้ำ (Gao et al., 2010)

โพลีไวนิลไพโรลิโดน Polyvinylpyrrolidone (PVP) เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้จากทางเคมี โพลีไวนิลไพโรลิโดนคือสารพอลิเมอร์แลคแตม (lactam) ภายในเชื่อมต่อด้วยพันธะเอไมด์ (amide) (Frank HP, 1954) เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของแต่ละหน่วย โพลีไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็น amphiphilic

คุณสมบัติคือ ในโมเลกุลเดียวกันมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) กลุ่มเอไมด์ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) กลุ่มเมทิลีน ในส่วนของ backbone และส่วนของวงแหวน ซึ่งเป็นคุณสมบัติไฮโดรโฟบิก



รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของโพลีไวนิลไพโรลิโดน หรือ PVP

โพลีไวนิลไพโรลิโดนถูกนำมาใช้ได้หลากหลายด้าน สิ่งที่น่าสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อมก็คือ ลักษณะโครงสร้างมีความคล้ายกับโปรตีนซึ่งได้ให้ความสำคัญสำหรับการนำไปใช้ในทางการแพทย์เป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโพลีไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็นพิษต่ำมาก และสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบ (Doneux et al., 1997)

โพลีไวนิลไพโรลิโดนมีความน่าสนใจในเรื่องของเทคโนโลยีในการทำฟิล์ม การเกาะยึดติดกัน สิ่งเหล่านี้ถูกนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สเปรย์ฉีดผสม สารยึดเกาะ สารละลายสิ่งพิมพ์ ซึ่งความเป็นคอลลอยด์ของตัวมันเองจึงถูกนำไปใช้ในเรื่องของยา ส่วนผสมน้ำยาทำความสะอาด การเตรียมเครื่องสำอางค์ กระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นสารพอลิเมอร์และสีย้อม หรือตัวช่วยการแพร่กระจายของสารย้อมสี (Blecher et al., 1980) ยิ่งไปกว่านั้น โพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) มีพอลิเมอร์ที่บรรจุหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งมีความเข้ากันได้กับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ตั้งแต่ศักยภาพในการละลายน้ำของสองพอลิเมอร์โพลีไวนิลไพโรลิโดนสามารถกำจัดทิ้งในรูปแบบที่เป็นของแข็งในระบบกำจัดของเสีย หรือทำให้เจือจางในรูปแบบของเหลว ในการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติแสดงถึงโพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็น recalcitrant (Trimpin et al., 2001)

วัสดุที่เลือกใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยควรมีความสามารถในการรับน้ำ (hydrophilic) เข้าไปได้ และทำให้มีการส่งผ่านธาตุอาหารไปยังพืชได้ ในอีกทางหนึ่งก็ต้องมีความเป็น hydrophobic เพื่อที่จะป้องกันการแตกของเปลือกวัสดุที่ใช้เคลือบ เมื่อมีการเสื่อมหรือเปลือกโดนทำลายผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสีย ถือเป็นคุณสมบัติส่วนหนึ่งของการควบคุมการปลดปล่อย ตั้งแต่การเกิดรูของเปลือกเคลือบ การแตกของชั้นผิวเคลือบทำให้น้ำไหลเข้าไปและปฏิกิริยาการละลาย วัสดุที่ใช้เพื่อควบคุมการปลดปล่อยขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์และน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสำคัญต่อการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรีย (Jintakanon et al., 2008)

ปุ๋ยควบคุมการละลาย Controlled Releasing Fertilizers, (CRFs) รู้จักมาเป็นเวลาหลายปี ซึ่งถูกนำมาประเมินเปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยต่อการนำไปใช้ของพืช โดยทั่วไปประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ที่พืชนำไปใช้ได้

(Prasad et al., 1998) การควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยควรรักษาระดับความเข้มข้นในดินและเมื่อพืชต้องการ คำจำกัดความของปุ๋ยละลายช้าโดยทางคณะกรรมการยุโรปละลายด้วยน้ำ และตั้งการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสและให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งถูกอธิบายในกฎของการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ (Li et al., 2005)

เมื่อไม่นานมานี้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการปลดปล่อยในทางอุตสาหกรรมกลุ่มพอลิเมอร์สังเคราะห์เป็นที่รู้จักและถูกสร้างความกังวลในด้านสิ่งแวดล้อม (Hong and Park, 2000; Kulkarni, Soppimath, & Aminabhavi, 1999; Kulkarni, Soppimath, & Aminabha, 2000; Kumbar, Kulkarni, Dave, Aminabha, 2001)

การพัฒนาปรับปรุงวัสดุไบโอพอลิเมอร์เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารในอุตสาหกรรมมีการใช้บ้างแล้ว เช่นการใช้สารกัมมันตภาพรังสีสำหรับการเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรียแต่พบว่ามีข้อเสียด้านความเปราะแตกหักง่าย จึงมีงานที่พัฒนาต่อเนื่องมาหลากหลายไม่ว่าจะเป็นการใช้ซีเมนต์มาเคลือบผิวอีกชั้นหนึ่งหลังจากที่เคลือบด้วยกัมมันตภาพรังสีแล้วเพื่อลดอัตราการปลดปล่อย แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตยังคงมีราคาสูงอยู่ก็ทั้งมีการใช้ซีเมนต์ร่วมด้วยทำให้เม็ดปุ๋ยเกาะติดกันง่ายยิ่งขึ้นซึ่งยากต่อการใช้ (Goertz et al., 1993; Choi and Meisen, 1997)

เมื่อไม่นานมานี้มีการนำแป้ง เซลลูโลส ลิกนิน และไคโตซาน ซึ่งที่กล่าวมานี้มีคุณสมบัติเป็นสารพอลิเมอร์ สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการพอง (swelling property) อีกทั้งลดต้นทุนการผลิตและที่สำคัญสามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ (Farg and Al-Afleq, 2002; Shogren et al., 2009; Zhang et al., 2007)

ปัจจุบันมีการพัฒนาปุ๋ยซึ่งสามารถควบคุมการปลดปล่อยเพื่อที่จะป้องกันการสลายของธาตุอาหาร และเพื่อที่จะให้พืชได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด (Trenkel, 1997) ไบโอพอลิเมอร์ถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการควบคุมการปลดปล่อยด้วยคุณสมบัติ อนุภาคนาโนขนาดเล็กที่สามารถเคลือบลงบนผิวโดยการพ่นและสร้างแผ่นฟิล์มได้ การใช้ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบจะสามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารสู่พืช โดยการแพร่ออกจากรูของเยื่อวัสดุที่เคลือบ และวัสดุที่เคลือบจะย่อยสลาย (El-Refae & Al-Sakran, 1996; Heulaly et al., 1993; Byung-Su et al., 1996) อัตราการปลดปล่อยและการสลายตัวของวัสดุที่ละลายน้ำขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เคลือบ

การใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นที่น่าสนใจ ซึ่งโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย หมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากซึ่งโดยพื้นฐานจะถูกนำมาใช้ในการเตรียมตัวอย่างได้ง่าย และคุณสมบัติในการสลายโดยธรรมชาติ (Park et al., 2001) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการสร้างฟิล์มคุณสมบัติไฮโดรฟิลิก และความหนาแน่นสูงในการทำปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การการเชื่อมพันธะโดยอุณหภูมิ หรือ สารเคมี (Lebrun et al., 2004)

โพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) มีความเป็น hydrophobicizer และ stabilizer สามารถนำไปพัฒนาเป็นเมมเบรนที่มีความเสถียรภาพได้อย่างมาก (Qiao et al., 2005) ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์การใช้สาร

ไบโอพอลิเมอร์ ได้แก่ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และ โพลีไวนิลไพโรลิโดน สำหรับการเคลือบซึ่งในที่นี้จะใช้เทคนิคการสเปรย์ซึ่งง่ายต่อการสร้างเป็นฟิล์มบนตัวเม็ดยูเรียและง่ายต่อการใช้งาน ดังนั้นแนวความคิดจะผลิตปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์นั้น (โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และ โพลีไวนิลไพโรลิโดน) จะสามารถพัฒนาต่อยอดแนวความคิดนี้ไปใช้ในการชะลอการปลดปล่อยธาตุของปุ๋ยเพื่อใช้ประโยชน์ในทางเกษตรต่อไปได้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.3.1 เพื่อต้องการใช้ไบโอพอลิเมอร์ (โพลีไวนิลแอลกอฮอล์และโพลีไวนิลไพโรลิโดน) สำหรับเคลือบเม็ดยูเรีย
- 1.3.2 การกำหนดอัตราการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียโดยใช้เทคนิคการเคลือบ
- 1.3.3 เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างของปุ๋ยยูเรียเคลือบ (EUF)
- 1.3.4 การตรวจสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยยูเรียเคลือบ EUF ต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1.4.1 สมมติฐานของงานนี้คือการหาวัสดุเคลือบผิวที่เหมาะสมในการควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียโดยใช้เทคนิคการเคลือบ
- 1.4.2 เทคโนโลยี encapsulation สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการเจริญเติบโตของพืชโดยการป้องกันและลดการสูญเสียของปุ๋ย

1.5 ขอบเขตและข้อจำกัดของงานวิจัย

ไบโอพอลิเมอร์ทั้งโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และโพลีไวนิลไพโรลิโดน ถูกนำมาใช้ในสูตรและความเข้มข้นที่ต่าง ๆ กันสำหรับการเคลือบผิวเม็ดยูเรีย นอกจากนี้ความหนา อุณหภูมิ และจำนวนรอบของการเคลือบผิวถูกตั้งข้อสังเกต โครงสร้างและลักษณะของพื้นผิวไบโอพอลิเมอร์ ของปุ๋ยยูเรียเคลือบถูกตั้งข้อสังเกตโดยใช้ภาพถ่ายอินฟราเรด (FT-IR) สแกนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และการวิเคราะห์ gravimetric (DSC) ต่อจากนั้นปุ๋ยยูเรียเคลือบถูกตรวจสอบพฤติกรรมภายใต้การไหลและนำมาใช้สำหรับการศึกษากการเจริญเติบโตของพืช

1.6 ผลการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ปุ๋ยยูเรียเคลือบสามารถลดการสูญเสียของปุ๋ยได้
- 1.6.2 การเคลือบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยยูเรียในผลผลิตทางการเกษตรได้

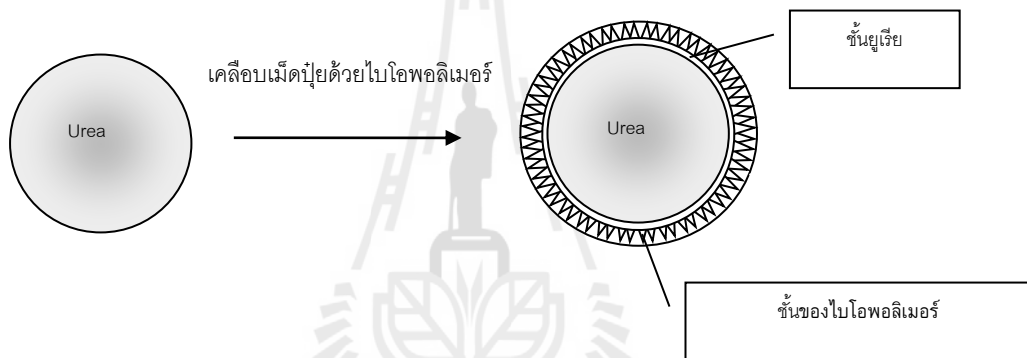
บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย

2.1.1 คัดขนาดเม็ดปุ๋ยยูเรียโดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาใส่เครื่อง rotary drum สารละลายไบโอพอลิเมอร์ที่เตรียมไว้ให้นำมาฉีดพ่นลงเม็ดปุ๋ยจนกระทั่งสารละลายจับตัวอย่างสมบูรณ์แบบบนเม็ดปุ๋ยจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2.1.2 ศึกษาลำดับในการเคลือบสารที่ทำให้เกิดชั้นของไบโอพอลิเมอร์ที่เคลือบเม็ดปุ๋ยโดยจัดลำดับการเคลือบชั้นผิวของเม็ดปุ๋ยที่แตกต่างกัน เพื่อให้เกิดการเรียงลำดับจากชั้นในสุดมาถึงชั้นนอกสุด ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3 ชั้นของยูเรีย ชั้นของไบโอพอลิเมอร์ตามลำดับ



รูปที่ 3 แสดงลำดับชั้นของสารแต่ละชนิดที่นำมาเคลือบเม็ดปุ๋ย

โดยเม็ดปุ๋ยที่เคลือบสารไบโอพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์โครงสร้างและการชะล้างหรือการปลดปล่อยธาตุอาหารของเม็ดปุ๋ย

ตารางที่ 1 แสดงสูตรปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆกัน

สูตรผสม	โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	โพลีไวนิลไพโรลิโดน
EUF 1	2	0
EUF 2	1	0
EUF 3	1	0.25
EUF 4	1	0.5
EUF 5	1	1
EUF 6	1	2

2.2 ศึกษาพฤติกรรมการไหล (slow release) ของปุ๋ยยูเรียในทราย

2.2.1 ชั่งตัวอย่างปุ๋ยยูเรีย 5 กรัมต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักทราย 50 กรัม ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากทิ้งไว้ในแต่ละช่วงเวลาจากนั้นนำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส

2.2.2 วิเคราะห์โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลาย 0.5 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย 4% ของ *p*-dimethylaminobenzaldehyde และ 4% ของกรดซัลฟูริก ซึ่งสารทั้งหมดละลายในเอทานอลจะถูกเติมลงในตัวอย่างสารละลายของยูเรีย หลังจากทำปฏิกิริยานาน 10 นาที สารละลายดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบสีเหลืองจึงทำการวัดที่ความยาวคลื่น 422 นาโนเมตร (Knorst et al., 1997)

2.3 วิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำของเม็ดปุ๋ยเคลือบไบโอพอลิเมอร์

นำเม็ดปุ๋ยเคลือบไบโอพอลิเมอร์ จำนวน 1 กรัมทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมาแช่ให้ท่วมด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้นกรองน้ำออกด้วยตะแกรงขนาด 80 ช่อง/เซนติเมตร ชั่งเม็ดปุ๋ยให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูแล้วนำไปชั่ง โดยนำน้ำหนักก่อนแช่และหลังแช่ไปคำนวณค่าการดูดซับน้ำด้วยสมการ (Rui and Mingzhu, 2006)

$$WA = \frac{M - M_0}{M_0}$$

โดย WA = ค่าการดูดซับน้ำ
 M_0 = น้ำหนักก่อนการแช่น้ำ
 M = น้ำหนักหลังการแช่น้ำ

2.4 วิเคราะห์โครงสร้างภายนอกของปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่างๆ

โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด Scanning electron microscope (SEM) ซึ่งจะทำให้การตรวจโครงสร้างของเม็ดปุ๋ยที่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ เพื่อดูความแตกต่างทั้งภายในและภายนอก โดยการผ่าในภาคตัดขวางแล้วทำการถ่ายรูปและวัดขนาดรูพรุนของเม็ดปุ๋ยที่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ (Maria and Anna, 2002)

2.5 วิเคราะห์หาหมู่ functional ด้วยเครื่อง FT-IR

ทำการวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ในเม็ดปุ๋ยที่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์โดยทิ้งเม็ดปุ๋ยยูเรียเคลือบไว้ที่อุณหภูมิห้องในตู้ดูดความชื้น จากนั้นจึงทำการวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเพื่อจำแนกประเภท

ของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีใน โมเลกุลของเมล็ดป๋วยนั้นๆ โดยนำเมล็ดป๋วยมาบดละเอียดแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (Xiaozhao et al., 2009)

2.6 ทดสอบประสิทธิภาพป๋วยในกระถางปลูก

2.6.1 นำเมล็ดผัก เช่น คะน้า เพาะลงบนแปลงเพาะเมล็ด จากนั้นย้ายสู่กระถางปลูกโดยทำแผนการทดลองแบบ RCB

2.6.2 ทดสอบประสิทธิภาพของป๋วยโดยการใส่ป๋วยยูเรียที่เคลือบด้วยสารไบโอพอลิเมอร์ที่ทำให้ผลทดสอบการควบคุมการปลดปล่อยที่ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้นนำมาเปรียบเทียบกับป๋วยยูเรียที่ไม่ได้เคลือบสารใดๆในแปลงผักทดลอง โดยมีชุดควบคุมคือไม่ใส่ป๋วยใดๆ

2.6.3 เก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชในส่วนของ ใบ ลำต้น และราก (อายุเก็บเกี่ยว 45 วัน)

2.6.3.1 นำส่วนใบไปหาพื้นที่ใบ LAI (Leaf area / Land area) โดยการใช้อุปกรณ์วัดพื้นที่ใบ

2.6.3.2 นำตัวอย่างแต่ละส่วนของต้นพืชไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งแล้วชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง (Dry weight)

2.6.3.3 วัดความยาวของราก และลำต้น

2.6.4 นำตัวอย่างพืชที่อบและบดละเอียดแล้วประมาณ 1.00 กรัม มาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่สะสมโดยวิธี Kjeldahl method ตามมาตรฐาน AOAC (Abraham and Rajasekharan, 1996)

2.6.5 วิเคราะห์ตัวอย่างดินก่อนปลูกและหลังปลูก โดยการวิเคราะห์ค่า N, P, K, OM และ pH

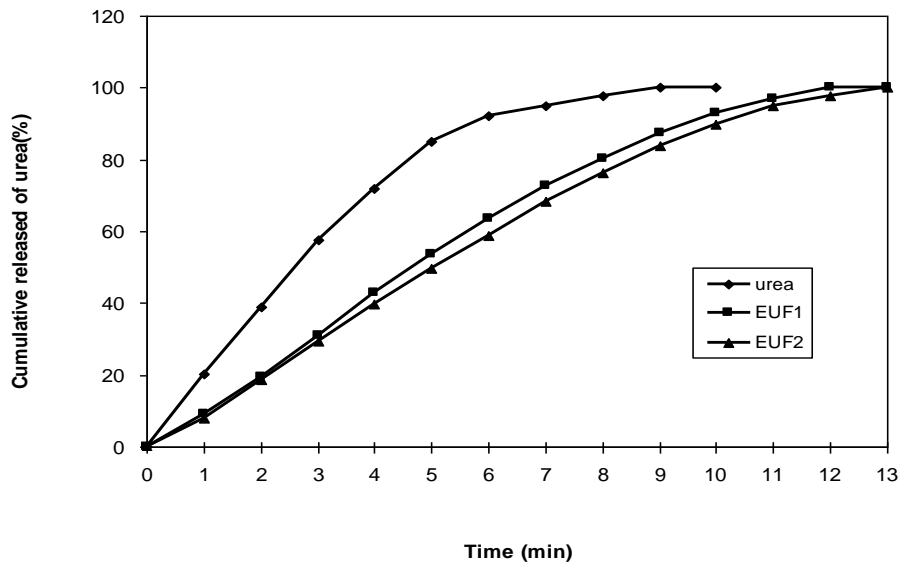
2.6.6 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลการวิจัยเชิงสถิติ โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS v.13 for window เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range, Test) ของปริมาณธาตุอาหารในดิน ความสูงต้น น้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น ปริมาณธาตุอาหารในผักคะน้า

บทที่ 3

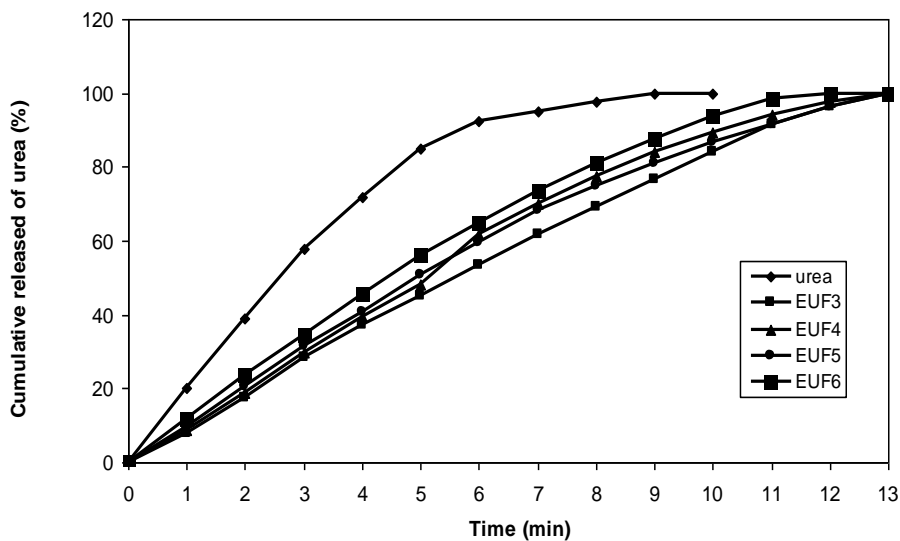
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองของการศึกษาพฤติกรรมการปลดปล่อยยูเรีย

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงผลของการสะสมการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียต่อด้วยเวลา ทั้งปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ ผลที่ได้คือปุ๋ยยูเรียชนิดเคลือบให้ค่าการปลดปล่อยที่สม่ำเสมอและยาวนานกว่าปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบ



รูปที่ 4 ทดสอบพฤติกรรมการไหลของปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ ปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร EUF1 และ EUF2



รูปที่ 5 ทดสอบพฤติกรรมการไหลของปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ ปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร EUF3 EUF4 EUF5 และ EUF6

ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณพฤติกรรมกรรมการปลดปล่อย

$$M_t/M = Kt^n \text{ or } \log(M_t/M) = \log(K) + n\log(t)$$

เมื่อ M_t/M คือ การปลดปล่อยต่อช่วงเวลา time (t)

n คือ ค่าแสดงพฤติกรรมกรรมการปลดปล่อย

K คือ ค่าประกอบอธิบายการปลดปล่อย

ตารางที่ 2 แสดงค่า n , K , และ r^2 ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

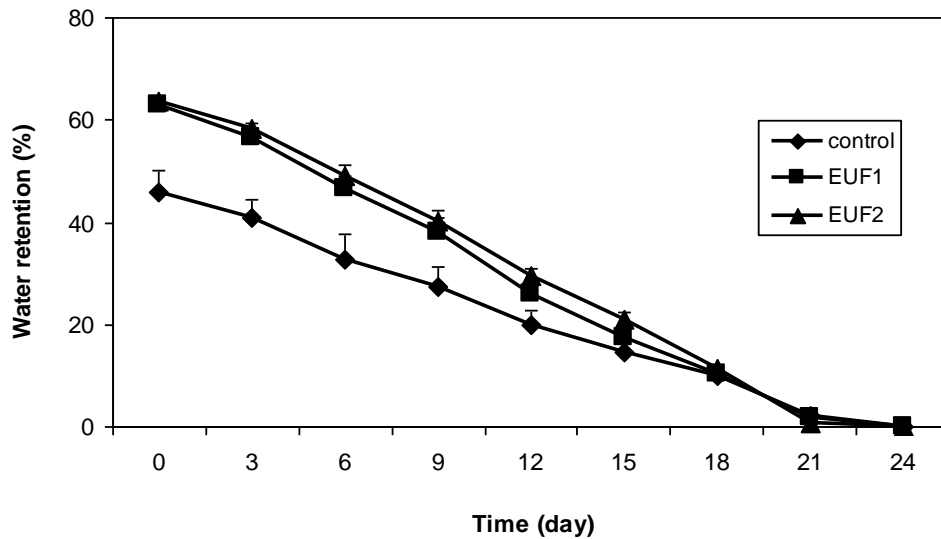
ตัวอย่าง	n	K	r^2
Urea	0.70	23.97	0.9468
EU1	0.95	10.44	0.9827
EU2	0.98	9.37	0.9867
EU3	0.96	9.14	0.9910
EU4	0.93	10.22	0.9832
EU5	0.88	11.24	0.9858
EU6	0.86	13.05	0.9922

ตามทฤษฎีค่า n ระหว่าง 0.5-1.0 แสดงถึงการปลดปล่อยเป็นแบบ non-fickian diffusion ซึ่งค่าที่ได้จากผลการทดลองของปุ๋ยยูเรียชนิดเคลือบให้ค่า n ระหว่าง 0.86-0.98 แสดงถึงการปลดปล่อยเป็นแบบ non-fickian diffusion ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบ มีค่า n อยู่ที่ 0.70 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ซึ่งการใช้เทคนิคการเคลือบปุ๋ยโดยวิธีสเปรย์ด้วยสารไบโอพอลิเมอร์ ได้แก่สารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และสารโพลีไวนิลไพโรลิโดนทำให้มีการควบคุมการปลดปล่อยยูเรียที่สม่ำเสมอและยาวนานขึ้น โดยเฉพาะสูตร EU2 และ EU3 แสดงค่าควบคุมการปลดปล่อยได้ดีที่สุด

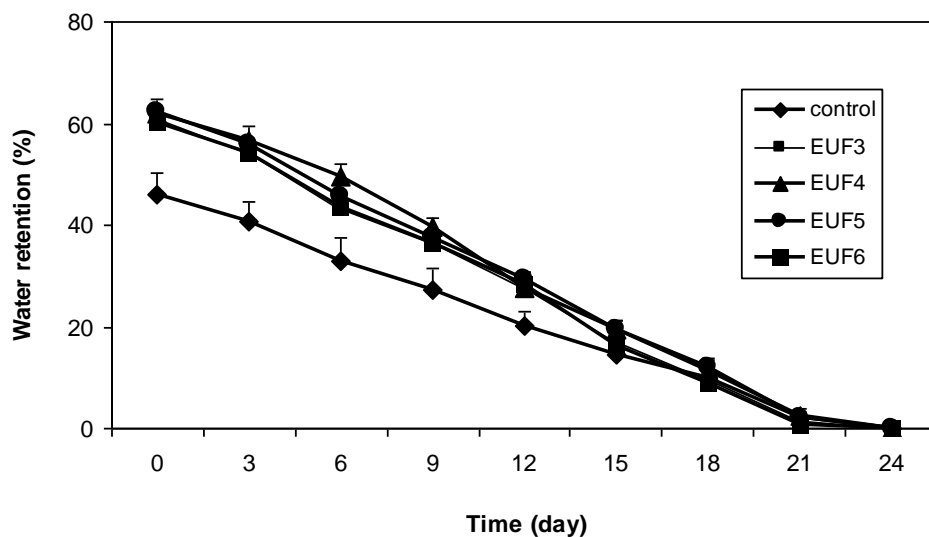
3.2 ผลการทดลองของการวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำของเม็ดปุ๋ยเคลือบ

จากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยเคลือบ EUF มีค่าความจุในการเก็บรักษาน้ำได้ดีในทราย ซึ่งปุ๋ยเคลือบทั้งสองสูตรของ EUFs สามารถกักเก็บจัดการน้ำได้ คือปุ๋ยเคลือบที่มีการเก็บจัดการน้ำที่ดีสามารถนำมาใช้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของพืช (รูปที่ 6) โดยความเข้มข้นอัตราส่วนมวลของ PVA / PVP ตั้งแต่ 1:0.25 ถึง 1:2 ให้เส้นแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าอัตราการกักเก็บน้ำในทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF3 มีค่า 43.4% และ 16.9% โดยน้ำหนักในวันที่ 6 และวันที่ 15 ตามลำดับ อัตราส่วนการกักเก็บน้ำของทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF4 มีค่า 49.4% และ 19.6% โดยน้ำหนักในวันที่ 6 และวันที่ 15

ตามลำดับ อัตราส่วนการกักเก็บน้ำของทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF5 มีค่า 45.5% และ 19.5% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนการกักเก็บน้ำของทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF6 มีค่า 43.7% และ 16.4% โดยน้ำหนัก ในวันที่ 6 และวันที่ 15 ตามลำดับ หลังจากวันที่ 21 ไม่มีค่าการกักเก็บน้ำทั้งจากทรายที่มีและไม่มีปุ๋ยเคลือบ EUF



รูปที่ 6 พฤติกรรมการดูดซับน้ำของทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF1, EUF2 และชุดควบคุม (ไม่ใช่ปุ๋ยเคลือบ)



รูปที่ 7 พฤติกรรมการดูดซับน้ำของทรายกับปุ๋ยเคลือบสูตร EUF3, EUF4, EUF5, EUF6 และชุดควบคุม (ไม่ใช่ปุ๋ยเคลือบ)

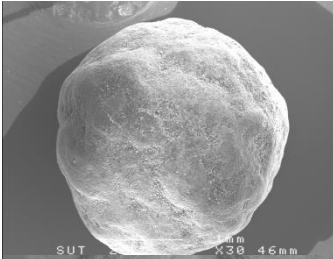
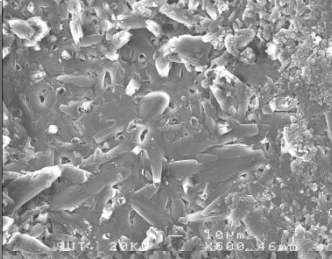
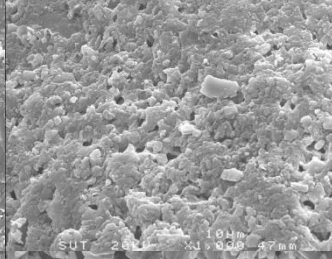
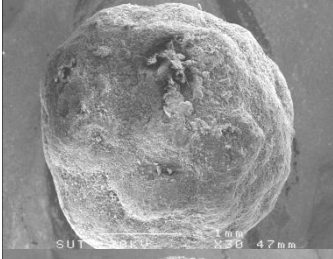
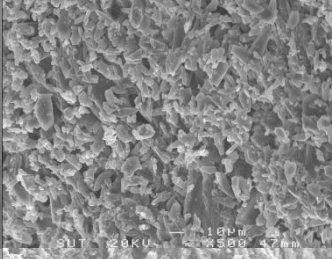
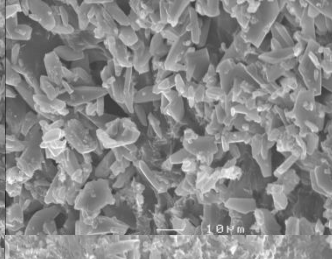
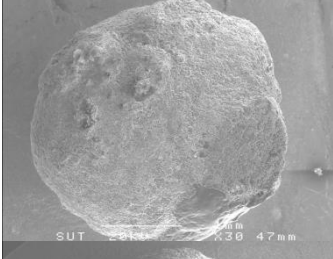
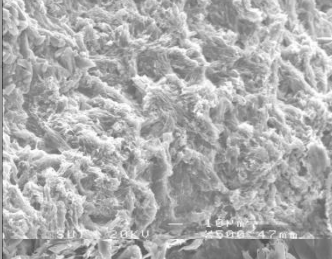
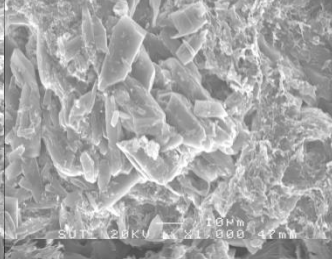
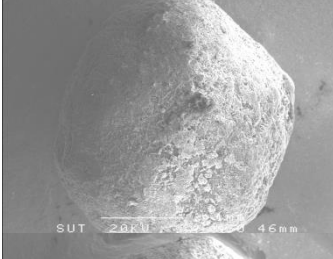
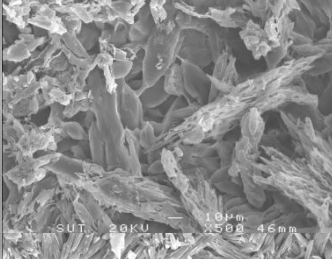
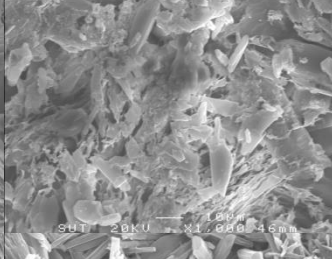
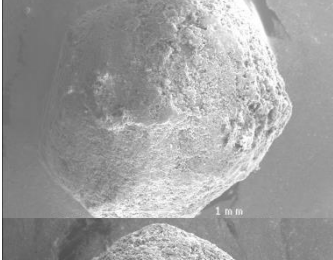
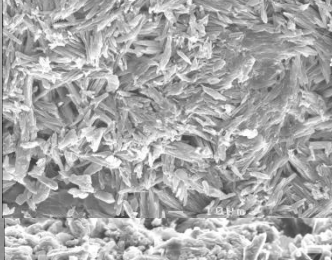
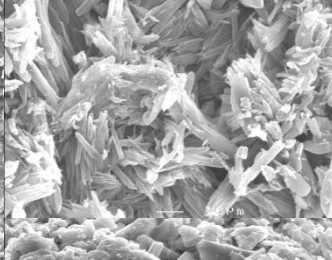

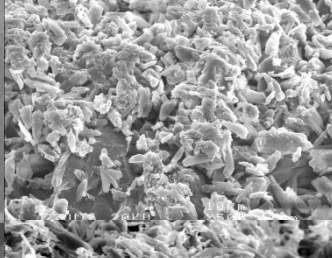
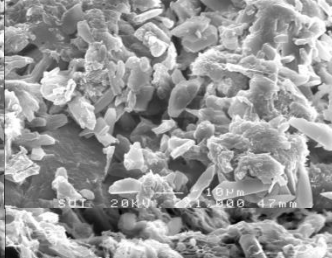
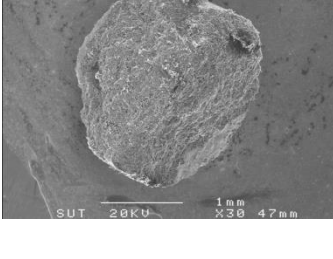
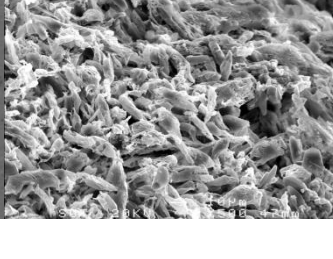
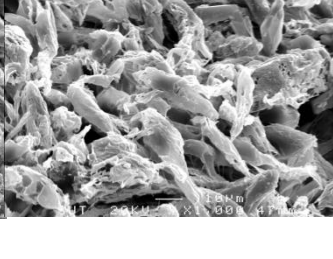
ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบไปเพิ่มค่าการกักเก็บน้ำและลดค่าการระเหยของน้ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย สิ่งเหล่านี้เป็นข้อดีที่สำคัญกว่าปุ๋ยละลายช้าทั่วไป ซึ่งมักจะ

เพียงการควบคุมการปล่อย เหตุผลก็คือ ชั้นเคลือบผิวด้านนอกของ EUF สามารถดูดซับและเก็บปริมาณมากของน้ำในทรายและดูดซึมน้ำไว้ จากนั้นจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ กับการลดความชื้นของทราย ดังนั้นการพองบวมของ EUF ทำให้มีการกักเก็บน้ำและสารอาหารสำรองต่อระบบพืชดินหรือทราย จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและปุ๋ยในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้วัสดุที่เคลือบก็ไม่ใช่อันตรายต่อดิน

3.3 ผลการทดลองการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุที่ใช้เคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรียโดยใช้เครื่องมือ scanning electron microscopy (SEM)

การใช้เครื่องมืออิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะผิว (surface) ของเม็ดปุ๋ยที่ทำการเคลือบและไม่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ จากรูปแสดงภาพถ่ายของเม็ดปุ๋ยยูเรีย และเม็ด EUF ในรูปทรงและลักษณะของพื้นผิว EUF ทั้งหมดดังแสดงในรูป 3.5 ซึ่งแสดงพื้นผิวโดยรวมของการเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย ด้วย PVA และ PVP พบว่ามีลักษณะของวัสดุไบโอพอลิเมอร์ของทั้ง 2 ชนิดเกาะอยู่บนผิวของเม็ดปุ๋ยยูเรียด้วยรูปทรงเป็นผลึกที่มีความหลากหลาย เช่น ทรงแผ่นท ทรงเข็ม ทรงกลม และยังคงมีรูเพื่อรับการดูดซับน้ำเพื่อการละลาย ซึ่งขนาดของผลึกประมาณ (5-10 ไมโครเมตร) โดยทั่วไปลักษณะพื้นฐาน โครงสร้างผลึกของ PVP จะเป็นรูปทรงกลม (spherical) ลักษณะเป็นเกล็ด (Kumar et al., 1999) โครงสร้างของผลึกและความสมมาตร จะแสดงหน้าที่ในเรื่องของคุณสมบัติหลายๆอย่าง อย่างไรก็ตามลักษณะของสารเคลือบผิวแสดงให้เห็นว่ามีมากกว่าหนึ่งรูปแบบของ PVA/PVP ที่เคลือบบนเม็ดปุ๋ยยูเรียผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไบโอพอลิเมอร์ทั้ง (PVA, PVP) มีความเข้ากันได้และสามารถเกาะยึดติดบนพื้นผิวของเม็ดปุ๋ยยูเรียจริงทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในเรื่องการละลาย และอื่นๆ ตามมาด้วยวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้

กำลังขยาย

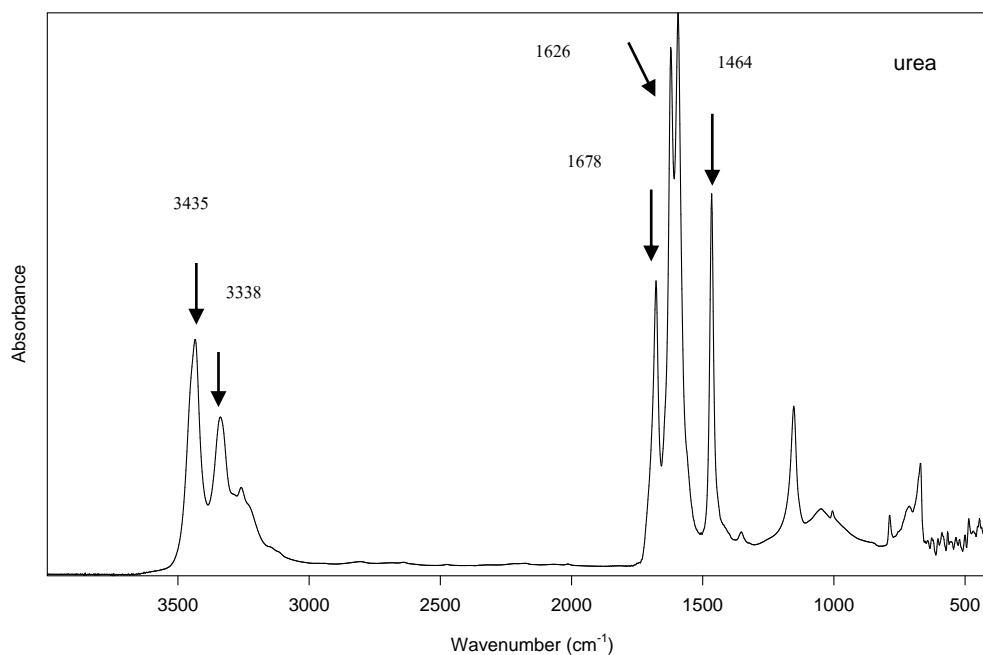
ชนิด	30เท่า	500เท่า	1000เท่า
Urea			
EUF1			
EUF2			
EUF3			
EUF4			
EUF5			
EUF6			

รูปที่ 8 ภาพอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราดของเม็ดปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์, PVA/PVP (2:0), (EUF1); PVA/PVP (1:0), (EUF2); PVA/PVP (1:0.25), (EUF3); PVA/PVP (1:0.5), (EUF4); PVA/PVP (1:1), (EUF5) and PVA/PVP (1:2), (EUF6) ภาพกำลังขยาย 30 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า

3.4 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ functional ด้วยเครื่อง FT-IR

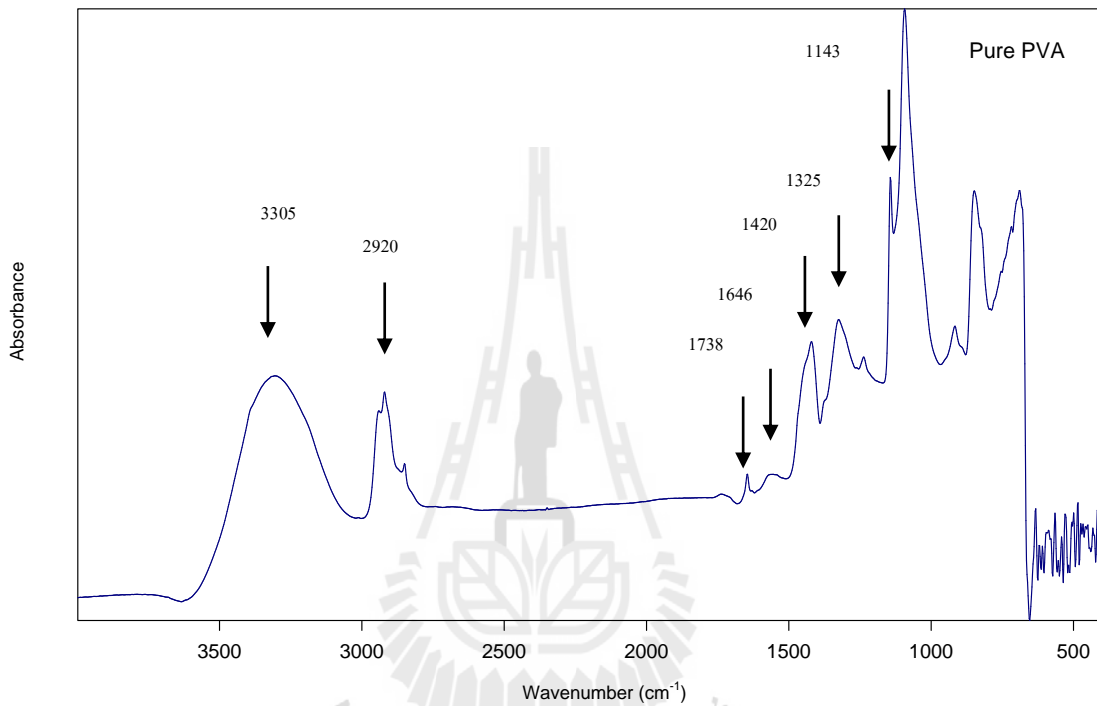
การทดสอบเม็ดปุ๋ยยูเรียเคลือบ โดยใช้เทคนิค FT-IR เป็นการนำเม็ดปุ๋ยยูเรียเคลือบอบไล่ความชื้น และนำมาบดแล้วนำเข้าทดสอบในเครื่อง FT-IR Tensor 27 (Bruker) โดยทำการวัดสเปกตรัมที่ $3500 - 500 \text{ cm}^{-1}$ พบว่า สเปกตรัมที่เกิดขึ้นที่ 3435 และ 3338 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นพันธะทางเคมีของ NH_2 และ สเปกตรัมที่ตำแหน่ง $1800-1500 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นพันธะทางเคมีของ CO ที่เด่นชัด จากรูปที่ 9 พบตำแหน่งของพันธะ CO ของยูเรียที่ 1678 cm^{-1} งานวิจัยอื่นๆ เปรียบเทียบตำแหน่งการสั่นพันธะทางเคมี CO ของยูเรียที่ 1734 cm^{-1} (King, 1972) ที่ตำแหน่ง 1686 cm^{-1} และ 1603 cm^{-1} (Yamaguchi et al., 1957) โดยที่การสั่นพันธะทางเคมีของ CN พบที่ตำแหน่ง 1464 cm^{-1}

ตำแหน่งสเปกตรัมที่พบในการละลายของยูเรียในกลุ่มธาตุฮาโลเจนของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนที่ 1700 cm^{-1} (Dobrowolski et al., 1994) ยูเรียที่ละลายใน acetonitrile (1695 cm^{-1}) (Hadzie et al., 1976), และ pure solid urea (1682 cm^{-1}) แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงการสั่นพันธะทางเคมีของ CO ที่เด่นชัด โดยที่ลักษณะการเชื่อมต่อกับโมเลกุลของพันธะไฮโดรเจนจากหัวไปหางเป็นไปแบบไม่มีที่สิ้นสุด โดยแต่ละ Chain จะต่อ chain แต่ละจากกับ chain ที่ใกล้เคียง (Dong et al., 2000)



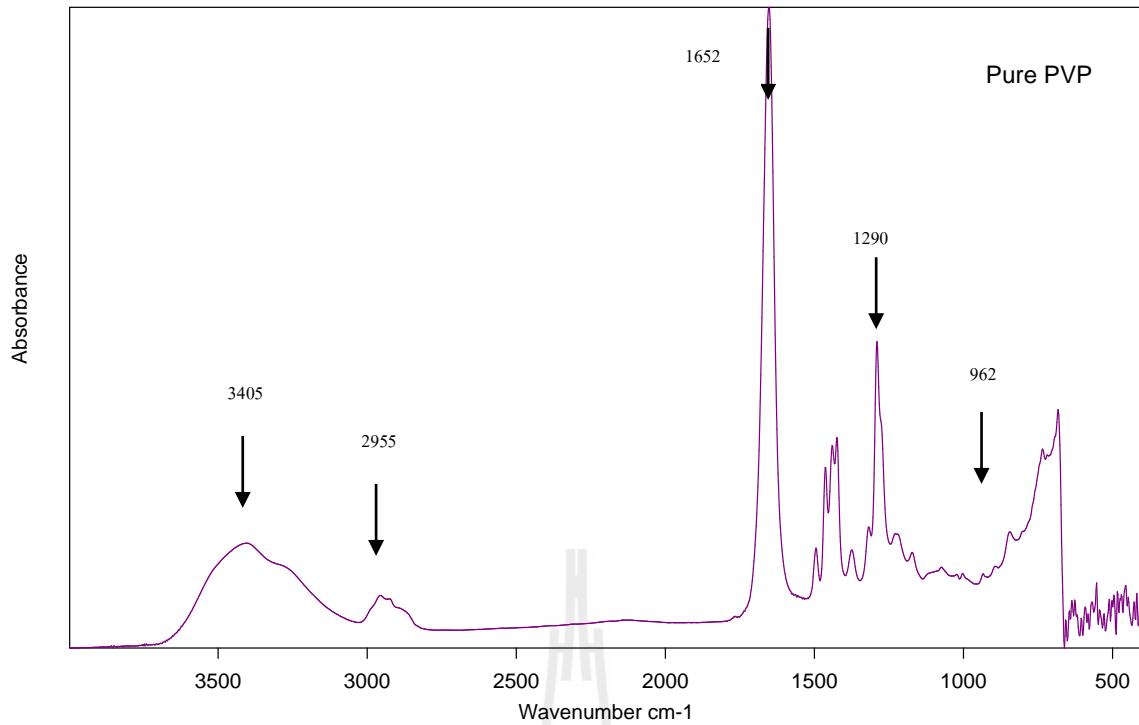
รูปที่ 9 FT-IR spectra ของปุ๋ยยูเรียที่ $3500-500 \text{ cm}^{-1}$

จากสเปกตรัม FT-IR ของ PVA พบการดูดซึมวงกว้างของสเปกตรัมที่ประมาณ 3305 cm^{-1} ซึ่งคือการสั่นพันธะของหมู่ OH ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นพันธะ asymmetric ของ CH_2 สเปกตรัมเกิดขึ้นที่ 2920 cm^{-1} สเปกตรัมที่ 1143 และ 1420 ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นพันธะ C-O ของ acetyl group ซึ่งเป็น backbone ของโครงสร้าง PVA งานวิจัยอื่นๆ พบการสั่นของพันธะของ OH ที่ประมาณ 3247 cm^{-1} และ $1082, 1414\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นพันธะ C-C (Rodrigues et al., 2007) และปรากฏการสั่นพันธะ C=O เนื่องมาจากลักษณะธรรมชาติของพอลิเมอร์ประเภทสารประกอบกึ่งผลึก (semicrystalline) (Laot et al., 1999; Wu et al., 2001)



รูปที่ 10 FT-IR spectra ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่ $3500\text{-}500\text{ cm}^{-1}$

จากสเปกตรัม FT-IR ของ PVP พบการสั่นพันธะของหมู่ฟังก์ชัน OH แสดงที่ 3405 cm^{-1} จากการศึกษาพบการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน OH ช่วงความถี่ 3750 และ 3100 cm^{-1} (Qiao et al., 2010) การสั่นในช่วงแถบ (band) 2955 cm^{-1} มาจากการสั่นของพันธะ C-H จาก alkyl groups ช่วงการดูดกลืน band ที่ 2954 และ 2894 cm^{-1} ของ $-\text{CH}_3-$, $-\text{CH}_2-$, และ CH- groups (Qiao et al., 2010)

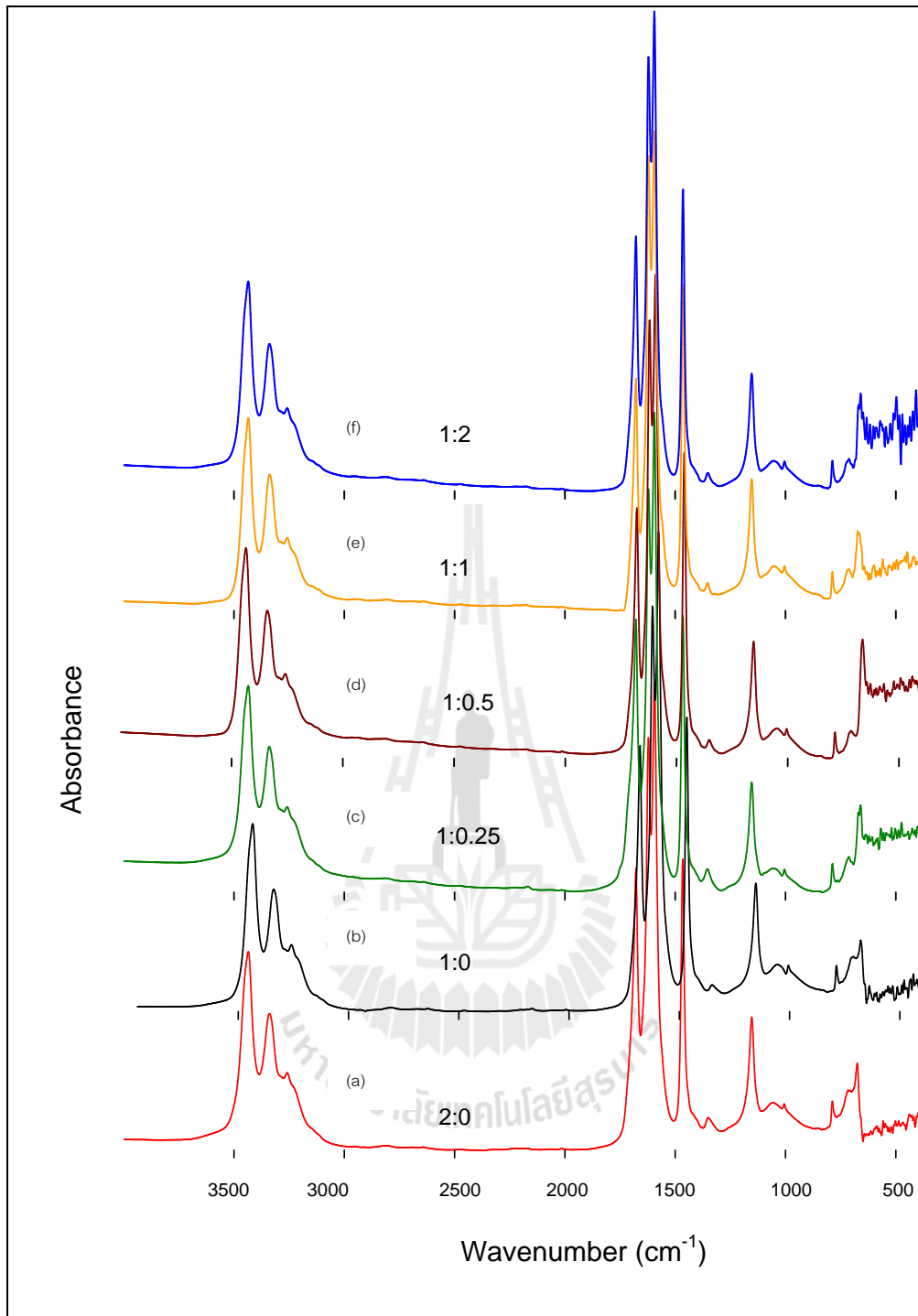


รูปที่ 11 FT-IR spectra ของ โพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ที่ 3500-500 cm^{-1}

ช่วงการดูดกลืนที่สำคัญของอินฟราเรดสเปกตรัมที่ให้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับหมู่ฟังก์ชันช่วง 4000-1300 cm^{-1} ซึ่งเรียกว่าเป็นบริเวณหมู่ฟังก์ชัน (functional group region) จากรูปที่ 12 พบสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 1800-1500 cm^{-1} มีการ shift เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วน PVP เนื่องจากช่วงความถี่ที่ 1672 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งพิการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน C=O ของ PVP (Qiao et al., 2010)

กล่าวโดยสรุปว่าสารประกอบที่มีหมู่ O-H และ N-H แถบการดูดกลืนของ O-H stretching และ C-O stretching สามารถแปลงรูปร่างและตำแหน่งได้โดยขึ้นอยู่กับเกิดการพันธะไฮโดรเจน โดยปกติตำแหน่งการดูดกลืนของ C=O จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สถานะทางกายภาพ, ผลเชิงอิเล็กทรอนิกส์ ผลเนื่องมาจากมวลของหมู่แทนที่ที่ต่ออยู่, การเกิดคอนจูเกชัน, การเกิดพันธะไฮโดรเจน (ทั้งระหว่าง และภายในโมเลกุล) เป็นต้น ทำให้ตำแหน่งการดูดกลืนอาจผันแปรได้ในช่วงกว้างถึง 1870-1540 cm^{-1} จึงมักให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของหมู่ C=O

อย่างไรก็ตามสารที่มีหมู่ฟังก์ชันประเภทเดียวกันมักให้พิลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งช่วงการดูดกลืนของสเปกตรัม ตั้งแต่ 1300-900 cm^{-1} เป็นบริเวณลายนิ้วมือ (fingerprint region) เห็นได้จากรูปที่ 12 สเปกตรัม FT-IR ของแต่ละ EUF ทุกสูตรปฏีมีสเปกตรัมใกล้เคียงกัน สเปกตรัมที่ได้จึงมีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมของยูเรียที่ไม่เคลือบ เนื่องจากปริมาณการใช้สารเคลือบผิว หรือ วัสดุเคลือบ (PVA/PVP) ที่นำมาเคลือบบนเม็ดปฏียูเรียนั้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณเม็ดของปฏียูเรีย



รูปที่ 12 FT-IR spectra ของปฏยูเรียที่เคลือบด้วยสารไบโอพอลิเมอร์ (a) PVA/PVP (2:0), (EUF1); (b) PVA/PVP (1:0), (EUF2); (c) PVA/PVP (1:0.25), (EUF3); (d) PVA/PVP (1:0.5), (EUF4); (e) PVA/PVP (1:1), (EUF5) และ (f) PVA/PVP (1:2), (EUF6) อัตราส่วนโดยน้ำหนัก

3.5 ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชโดยใช้ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบ และเคลือบด้วยสารไบโอพอลิเมอร์ PVA และ PVP

คะน้า (*Brassica oleracea*) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียและปลูกกันมากในประเทศจีน ฮองกง ไต้หวัน มาเลเซียและประเทศไทย อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 45-55 วัน สามารถปลูกได้ตลอดปี ผักคะน้าต้องการธาตุอาหารสูงในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนเนื่องจากเป็นพืชกินส่วนของลำต้นและใบ คำนแนะนำ ในการใส่ปุ๋ยของผักคะน้าโดยทั่วไป คือ 40 กิโลกรัม N /ไร่ ผักคะน้าสามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงมีความเป็น กรดเป็นด่าง (pH) ของดินอยู่ระหว่าง 5.5-6.8 และมีความชื้นในดินสูงสม่ำเสมอ ต้องการแสงแดดเต็มที่ คะน้าเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิเฉลี่ย 20 องศาเซลเซียส แต่ก็สามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ดี

เก็บตัวอย่างดินปลูกมาวิเคราะห์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ด้วยอัตราส่วน ปุ๋ย:น้ำ เท่ากับ 1:1 ด้วยเครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อัตราส่วน ปุ๋ย:น้ำ เท่ากับ 1:5 ด้วยเครื่อง Electrical Conductivity Meter วิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley and Black (Black,1965) วิเคราะห์ N ด้วยวิธี Kjeldahl (Bremner, 1996) วัด %P ด้วยวิธี Vanadomolybdate (Hesse, 1971) วิเคราะห์ K ด้วยวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Jones, 2001) ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดินต่างๆก่อนปลูกผักคะน้าในกระถาง

คุณสมบัติทางเคมี	ค่าวิเคราะห์
pH (water, 1:1)	7.75
OM (%)	7.4
EC (mS/cm)	0.33
Available N (mg/kg)	0.37
Available P (mg/kg)	29.6
Available K (mg/kg)	877.15

ผลการผลิตของผักคะน้า

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า EUF2 และ EUF3 ให้ผล น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของ ลำต้น ราก สูงสุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า คะน้าเป็นพืชที่มีความสามารถในการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ดี และผลการวิจัยยังพบอีกว่าสารไบโอพอลิเมอร์ PVA และ PVP ที่ใช้เคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย (EUF2และ EUF3) ให้ค่าการสะสมปริมาณไนโตรเจนสูงสุด โดยดูได้จากน้ำหนักชีวมวลของพืช (ตารางที่ 4)

คะน้ำ ที่ใส่ปุ๋ยสูตร EUF2 และ EUF3 ให้ผลคือ น้ำหนักลำต้น สด และแห้ง เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และจะเห็นได้ว่าตัวสาร ไบโอฟอลิเมอร์ทั้ง PVA หรือ PVP ไม่มีผลในการเพิ่มการเจริญเติบโตคะน้ำ

ผลการทดลองการวัดความยาวของลำต้นพบว่า ให้ค่าแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเรียงจาก ยูเรีย EUF2, EUF3 และ EUF6 (ตารางที่ 5) ความยาวรากแสดงค่าแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร EUF2 และผลการวัดดัชนีพื้นที่ใบของคะน้ำให้ค่าสูงในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยยูเรีย EUF2, EUF3 และ EUF6 ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ใบถือเป็นสิ่งสำคัญเพราะเป็นตัวการกำหนดพื้นที่รับแสงเพื่อการผลิตชีวมวลของพืช (Monteith, 1977) และ (Watson, 1958; Nanda et al., 1995)

ตารางที่ 4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นและรากของคะน้ำ โดยเทียบกับการใส่ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและเคลือบด้วยไบโอฟอลิเมอร์

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)		น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	
	ต้น	ราก	ต้น	ราก
ชุดควบคุม	3.95 ^c	0.36 ^d	0.41 ^c	0.07 ^c
ปุ๋ยยูเรีย	36.05 ^b	1.82 ^{bc}	3.64 ^b	0.37 ^b
EUF2	44.18 ^a	2.86 ^a	4.56 ^a	0.56 ^a
EUF3	43.84 ^a	2.33 ^b	4.64 ^a	0.52 ^a
EUF6	39.95 ^{ab}	1.77 ^c	4.32 ^a	0.42 ^b
Osmocote	6.26 ^c	0.26 ^d	0.55 ^c	0.05 ^c
PVP	3.42 ^c	0.18 ^d	0.35 ^c	0.03 ^c
PVA	2.15 ^c	0.16 ^d	0.26 ^c	0.04 ^c
% CV	11.54	24.17	12.75	21.06

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 5 ความยาวลำต้น ราก และพื้นที่ใบ โดยเทียบกับการใส่ปุ๋ยยูเรียชนิดไม่เคลือบและเคลือบด้วย
ไบโอพอลิเมอร์

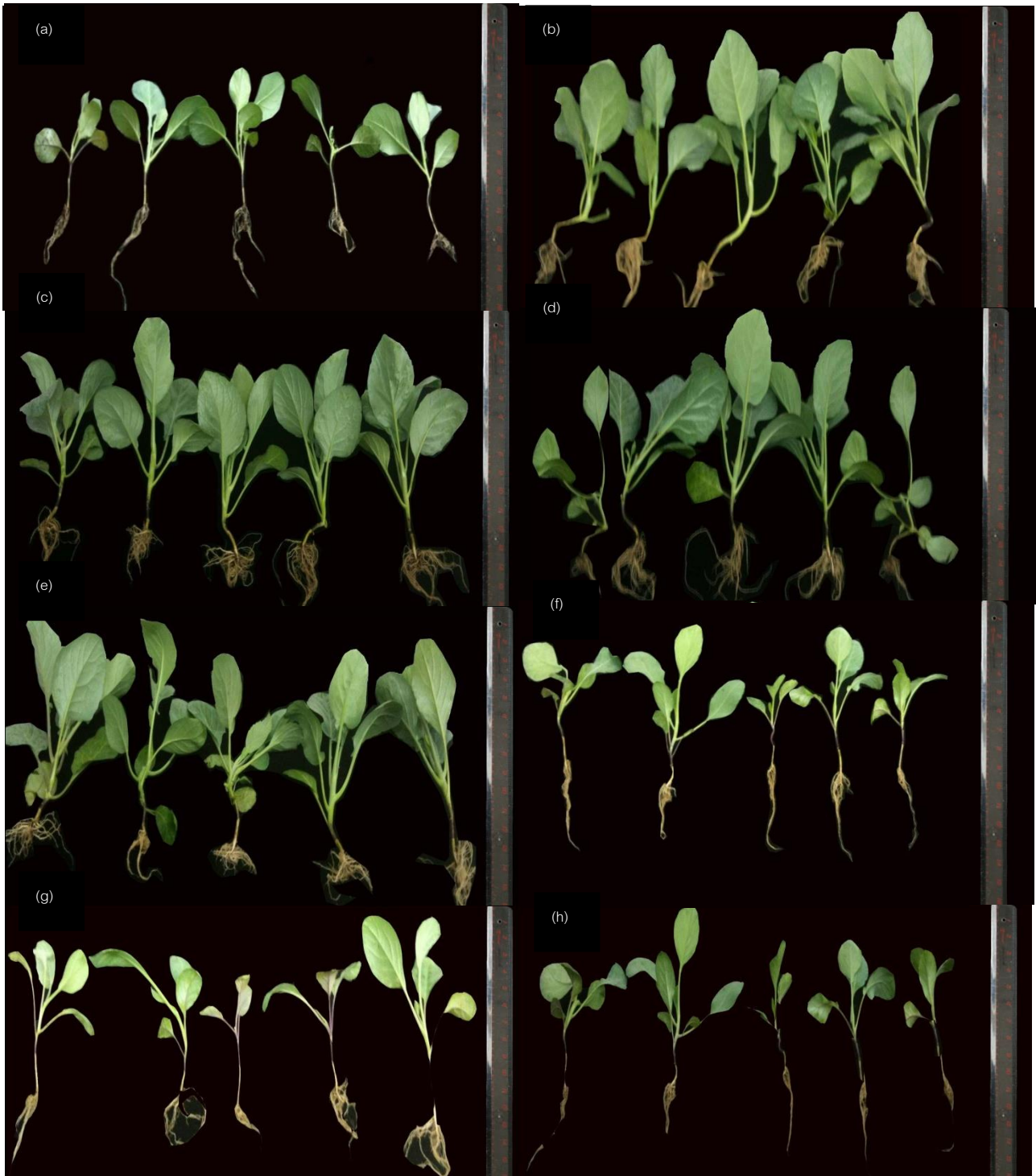
ตำรับการทดลอง	ความยาวต้น (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	พื้นที่ใบ (ซม. ²)
ชุดควบคุม	20.50 ^{cd}	9.83 ^{bc}	74.53 ^{cd}
ปุ๋ยยูเรีย	39.67 ^a	15.67 ^{ab}	455.47 ^b
EU2	37.33 ^a	22.33 ^a	569.15 ^a
EU3	33.16 ^b	16.00 ^{ab}	542.77 ^a
EU6	37.33 ^a	15.67 ^{ab}	468.45 ^b
Osmocote	21.83 ^c	12.5 ^{bc}	109.96 ^c
PVP	18.00 ^d	7.33 ^c	61.19 ^{cd}
PVA	14.66 ^c	12.00 ^{bc}	39.83 ^d
% CV	6.69	30.36	12.44

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ในผักคะน้า

ตำรับการทดลอง	% N	ปริมาณ N ทั้งหมด/ต้น
ชุดควบคุม	4.05 ^b	1.68 ^d
ปุ๋ยยูเรีย	4.04 ^b	13.29 ^c
EU2	5.24 ^a	24.14 ^a
EU3	5.12 ^a	24.56 ^a
EU6	3.62 ^c	16.63 ^b
Osmocote	3.56 ^c	2.16 ^d
PVP	3.49 ^c	1.36 ^d
PVA	3.63 ^c	1.05 ^d
%CV	3.53	7.08

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
โดยวิธี DMRT



รูปที่ 13 คำน้าระยะเก็บเกี่ยว ของชุดการทดลอง (a) ชุดควบคุม; (b) ยูเรีย; (c) EUF2; (d) EUF3; (e) EUF6; (f) Osmocote; (g) PVP และ (h) PVA

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของดินต่างๆ หลังปลูกผักคะน้าในกระถาง

ตัวรับการทดลอง	pH	EC (mS/cm)	moisture	% OM	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
ชุดควบคุม	7.78	0.33	27.1	4.03 ^f	0.20 ^f	11.46 ^g	818.69 ^a
ปุ๋ยยูเรีย	7.87	0.31	22.2	5.83 ^{bc}	0.29 ^{bc}	28.12 ^a	715.41 ^d
EUF2	7.84	0.33	10.4	6.56 ^a	0.33 ^a	22.55 ^b	733.73 ^{cd}
EUF3	7.84	0.31	22.7	6.42 ^{ab}	0.32 ^{ab}	19.09 ^{de}	730.31 ^{cd}
EUF6	7.82	0.33	32.3	6.38 ^{ab}	0.32 ^{ab}	14.09 ^{fg}	761.01 ^{bc}
Osmocote	7.85	0.33	27.8	4.31 ^{ef}	0.22 ^{ef}	20.12 ^{cd}	812.93 ^a
PVP	7.83	0.35	24.3	4.73 ^{de}	0.24 ^{de}	24.70 ^b	793.22 ^b
PVA	7.77	0.36	26.1	5.31 ^{cd}	0.27 ^{cd}	16.31 ^{ef}	769.54 ^b
%CV	-	-	-	5.38	5.38	6.67	1.89

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ระดับปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนและหลังการใส่ปุ๋ย คือดัชนีที่กำหนดการสูญเสียของธาตุไนโตรเจน ซึ่งระดับปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียไปเนื่องจากการดูดซึมธาตุอาหารของพืชมีค่าระหว่าง 10.61-17.19 มก./กก. แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยยูเรียเคลือบมีค่าการสูญเสียไนโตรเจนน้อยกว่าปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ (10.61 มก./กก. และ 17.19 มก./กก.) ธาตุไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชดังเห็นได้จากน้ำหนักของผักคะน้าซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของปุ๋ยส่งผลต่อผลผลิตของพืช จึงสรุปได้ว่าคุณภาพของปุ๋ยยูเรียเคลือบสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของผักคะน้า เห็นได้จาก น้ำหนักแห้ง ความยาวลำต้น ดัชนีพื้นที่ใบ รวมทั้งลักษณะทางสรีระวิทยาที่ดี (รูปที่ 13)

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาแรกคือการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารไบโอพอลิเมอร์ (PVA/PVP) ที่ทำการเคลือบโดยปฏิกิริยาที่ทำกรเคลือบ (EUF) สามารถที่จะควบคุมอัตราการปลดปล่อยของปฏิกิริยาได้ โดยการใช้อัตราส่วนของ Fick's ในการอธิบาย จากอัตราการปลดปล่อยของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยาเคลือบสูตร PVA / PVP ในอัตราส่วนต่อน้ำหนัก 1 : 0 (EUF2) และ 1 : 0.25 (EUF3) EUFs สามารถที่จะยืดเวลาการปลดปล่อยได้มากกว่าปฏิกิริยาที่ไม่เคลือบ ดูได้จากค่าคำนวณ n มีค่า 0.98, 0.96 และ 0.70 ตามลำดับ

จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าโครงสร้างของปฏิกิริยาเคลือบมีโครงสร้างผลึกที่หลากหลายและยังคงมีรูพรุนซึ่งสามารถดูดซับน้ำเพื่อการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ ดังนั้นพืชจึงสามารถที่จะนำไปใช้ได้ทันทีสำหรับการเจริญเติบโต การผสมกันของสารไบโอพอลิเมอร์ที่เคลือบบนเมล็ดปฏิกิริยาได้ถูกนำไปทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR เพื่อยืนยันการผสมกันจากการเปลี่ยนแปลงพันธะทางเคมี ซึ่งพบว่าพันธะเคมีของปฏิกิริยาเคลือบมีสเปกตรัมคล้ายคลึงกับปฏิกิริยาที่ไม่เคลือบเนื่องจากการใช้สารไบโอพอลิเมอร์ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณเมล็ดปฏิกิริยา แต่การพบตำแหน่งการดูดกลืนของ C=O ที่ shift ของปฏิกิริยาเคลือบแต่ละสูตร โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ PVP แสดงถึงลักษณะธรรมชาติของพอลิเมอร์ประเภทสารประกอบกึ่งผลึก ความแข็งแรงของพันธะซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเคลือบต่อการละลาย จึงทำการทดสอบการละลายพร้อมกับศึกษาการนำธาตุไนโตรเจนจากปฏิกิริยาไปใช้ประโยชน์ของชุดปลูกผักทดลอง

การทดสอบคุณภาพของปฏิกิริยาเคลือบและไม่เคลือบกับพืชคื่นหีบน้ำ โดยพารามิเตอร์ของการเจริญเติบโตของพืชคื่นหีบน้ำคือน้ำหนักเปียกราก น้ำหนักเปียกลำต้น น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งลำต้น และการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน พบว่า EUF2, EUF3 และ EUF6 ให้ผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระดับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในผักคื่นหีบน้ำ ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อพิจารณาถึงสูตรที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาควบคุมการปลดปล่อย ยืนยันได้จากผลการคำนวณทางทฤษฎีกลไกการปลดปล่อยของ Fick's และการเจริญเติบโตของผักคื่นหีบน้ำให้ผลตรงกันคือ EUF2 และ EUF3

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มศักยภาพการผลิตสู่ภาคอุตสาหกรรมเพื่อนำไปใช้จริงได้อย่างกว้างขวางในการที่จะนำไปเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร
2. การทดลองใช้วัสดุเคลือบอื่น เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการศึกษาในอนาคต และปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพการปลดปล่อยที่สูงยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Abraham, J., and Rajasekharan, P. Y. N. (1996). Membrane-encapsulated controlled-release urea fertilizer based on acrylamide copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*. 60: 2347-2351.
- Aleyamma, A. J., & Sharma, C. P. (1988). Poly(vinyl alcohol)-polyelectrolyte blended membranes-Blood compatibility and permeability properties. *Polymer Material Science Engineering*. 59: 673-692.
- Beadle, C.L. 1993. Growth analysis. In (Hall, D.O. *et al.* Ed.) *Photosynthesis and Production in the Changing Environment: A Field and Laboratory Manual*. Chapman & Hall : London.
- Black, C.A. (1965). Method of soil analysis In: the series *Agronomy American Society of Agronomy Inc, Medison, Wisconsin, USA*.
- Blecher L, Lorenz DH, Lowd HL, Wood AS, Wyman DP. Handbook of water soluble gums and resins. In: Davidson RL, editor. New-York: McGraw-Hill; 1980 [Chapter 21].
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen –Total. In: *Methods of Soil Analysis. Part. 3. Chemical Methods* (D.L. Sparks *et al.*, ed.). SSSA Book Set. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 1085-1121.
- Byung-Su, K., Young-Sang, C., and Hyun-Ku, H. (1996). Controlled release of urea from rosin-coated fertilizer particles. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 35: 250-257.
- C.C. DeMerlis, D.R. Schoneker. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA) Food and calitatii vietii, Ed. Pim, Iasi, 2006.
- Choi, M. M. S. and Meisen, A. (1997). Sulfur coating of urea in shallow spouted beds. *Chemical Engineering Science*. 52(7): 1073-1086.
- Constantin Ciobanu and Claudia Koncsag, (2006). Materiale compozite sustenabile pentru îmbunatatirea
- Dave, A. M., Metha, M. H., Aminabhavi, T. M., Kulkarni, A. R., and Soppimath, K. S. (1999). A review on controlled release of nitrogen fertilizers through polymeric membrane devices. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 38: 675-711.
- Dobrowolski, J.C. Jamroz, M.H. Mazurek, A.P. (1994). *Spectroscopy*. 8: 53.
- Doneux C, Caudano R, Delhalle J, Leonard-Stibbe E, Charlier J, Bureau C. (1997). *Langmuir*.13: 905-4898.
- Dong, S., Ida, R. and Wu. G. (2000). A combined experimental and theoretical ¹⁷O NMR study of crystalline urea: An example of large hydrogen-bonding effects. *Journal of Physical Chemistry*. 104. 11194-11202.

- El-Refaie, K., and Al-Sakran, A. (1996). Controlled release formulations of agrochemicals from calcium alginate. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 35: 3726-3729.
- Farag, S., and Al-Afaleq, E. I. (2002). Preparation and characterization of saponified delignified cellulose polyacrylonitrile-graft copolymer. *Carbohydrate Polymers*. 48: 1-5.
- Frank HP. (1954). *Journal of Polymer Science*. 12: 76-565.
- Gao, H., He, J., Yang, R. and Yang, L. (2010). *Journal Applied Polymer Science*. 116: 2734–2741.
- Goertz, H. M., Timmons, R. J., McVey, G. R. inventors; The O. M. Scott and Sons Company, assignee. (1993). Sulfur coated fertilizers and process for the preparation there of USA patent US005219465A. June 15.
- Guo, M., Liu, M., Zhan, F., and Wu, L. (2005). Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 44: 4206-4211.
- Hadzi, D., Kidric, J., Knezevic, Z.V. and Barlic, B. (1976). The normal coordinate analysis of urea, thiourea, and their isotopic analogues in the solid phase and in solution. *Molecular and Biomolecular Spectroscopy Section*, in: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy Section*. Amsterdam: Elsevier, ISSN 0584-8539, ZDB-ID 2016492-0 Vol. 32, No. 4, p. 693-704.
- Hesse, P.R. (1971). Total elemental analysis and some trace elements. *A test book of soil chemical analysis*: pp. 371-475.
- Heulaly, F. M., Abdel-Bary, E. M. and Sahran, A. A. (1993). Minimalization of water pollution and environmental problems via controlled release styrene butadiene rubber formulations containing ammonium nitrate. *Plastics and Rubber Composition Processing and Applications*. 19: 111-115.
- Hong, K., and Park, S. (2000). Polyurea microcapsules with different structures: Preparation and properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 78(4): 894-898.
- Hyon, S. H., and Ikada, Y. (1986). Slow release of drugs with use of PVA hydrogels. *Pharmacological Factory*. 6: 290-294.
- Isolyser Company, 1998. Isolyser Company, Inc. 4320 International Boulevard, N.W., Norcross, GA.
- Jintakanon, N., Opaprakasit, P., Petchsuk, A., Opaprakasit, M., 2008. Controlled-release materials for fertilizer based on lactic acid polymers. *Advanced Materials Research* 55-57, 905-908.
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.

- King, S.T. (1972). Low temperature matrix isolation study of hydrogen-bonded, high-boiling organic compounds-III. *Spectrochimic Acta Part A: Molecular Spectroscopy*. 28(1): 165-175.
- Kulkarni, A. R., Soppimath, K. S. and Aminabhavi, T. M. (2000). Solubility study of *Azadirachta indica* A. Juss. (Neem) seed oil in the presence of cosolvent/nonionic surfactant at (298.15, 303.15, 308.15, and 313.15) K. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 45, 75-77.
- Kulkarni, A. R., Soppimath, K. S., and Aminabhavi, T. M. (1999). Solubility study of *Azadirachta indica* A. Juss. (Neem) seed oil in the presence of cosolvent/nonionic surfactant at (298.15, 303.15, 308.15, and 313.15) K. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 45: 75-77.
- Kumar, V., Yang, T. and Yang, Y. (1999). Interpolymer complexation. I. Preparation and characterization of a polyvinyl acetate phthalate-polyvinylpyrrolidone (PVAP-PVP) complex. *International Journal of Pharmaceutics*. 188: 221-232.
- Kumbar, S. G., Kulkarni, A. R., Dave, A. M., and Aminabha, T. M. (2001). Encapsulation efficiency and release kinetics of solid and liquid pesticides through urea formaldehyde crosslinked starch, guar gum, and starch guar gum matrices. *Journal of Applied Polymer Science*. 82: 2863-2866.
- Laot, C.M., Marand, E. and Oyama, H.T. (1999). Spectroscopic characterization of molecular interdiffusion at a poly(vinyl pyrrolidone)/vinyl ester interface. *Polymer*. 40: 1095-1108.
- Lebrun, L., Follain, N. and Metayer, M. (2004). Elaboration of a new anion-exchange membrane with semi-interpenetrating polymer networks and characterization. *Electrochromica Acta*. 50: 93-985.
- Li D P, Xu X C, Wang H B. (2005). Review on the standards of slow controlled release fertilizer at home and abroad. *Phosphate and Compound Fertilizer*. 20: 41-42. (in Chinese)
- Liu, M., Liang, R., Zhan, F., Liu, Z., and Niu, A. (2007). Preparation and properties of diatomite composite superabsorbent. *Polymers for Advanced Technologies*. 18 (3): 184-193.
- Maria Tomaszewska and Anna Jarosiewicz. (2002) Use of Polysulfone in Controlled-Release NPK Fertilizer Formulations. *J. Agric. Food Chem* 50: 4634-4639.
- Miriam T. Knorst., Reinhard Neubert., Wolfgang Wohrab. (1997). Analytical methods for measuring urea in pharmaceutical formulations. *J. Pharmaceut. Biomed. Anal.* 15: 1627-1632.
- Montieth, J.L. (1977) Climate change and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*. 281: 277-294.
- Nanda, R., Bhargava, S.C. and Rawson, H.M. (1995). Effect of sowing date on rates of leaf appearance, final leaf numbers and areas in *Brassica campestris*, *B. juncea*, *B. napus* and *B. carinata*. *Field Crops Research*. 42: 125-134.

- Park, J-S., Park, J-W. and Ruckenstein, E. (2001). A dynamic mechanical and thermal analysis of unplasticized and plasticized poly(vinyl alcohol)/methylcellulose blends. *Journal Applied Polymer Science*. 80: 1825-34.
- Prasad R (1998) Fertilizer urea, food security, health and the environment. *Curr Sci* 75:677-683.
- Qiao, L. J., Hamaya, T. and Okada, T. (2005). New highly proton-conducting membrane poly(vinylpyrrolidone) (PVP) modified poly(vinyl alcohol)/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (PVA-PAMPS) for low temperature direct methanol fuel cells (DMFCs). *Polymer*. 46: 16-10809.
- Rodrigues, I. R., de Camargo Forte M. M., Azambuja, D. S. and Castagno, K.R.L. (2007). Synthesis and characterization of hybrid polymeric networks (HPN) based on polyvinyl alcohol/chitosan, *Reactive & Functional Polymers*. 67: 708–715.
- Rui Liang and Mingzhu Liu. (2006) Preparation and Properties of a Double-Coated Slow-Release and Water-Retention Urea Fertilizer. *J. Agric. Food Chem* 54: 1392-1398.
- Schellekens, R., & Bastiaansen, C. J. (1991). The drawing behaviour of polyvinyl alcohol fibers. *Journal of Applied Polymer Science*. 43: 2311-2315.
- Shogren, R. L., Willett, J. L., and Biswas, A. (2009). HRP-mediated synthesis of starch-polyacrylamide graft copolymers. *Carbohydrate Polymers*. 75(1): 189-191.
- Trenkel, M. E., (1997). *Controlled Release and Stabilized Fertilisers in Agriculture*. International Fertilizer Industry Association. Paris: France.
- Trimpin S, Eichhorn P, Rader HJ, Mullen K, Knepper TP. (2001). *Journal of Chromatography*. 938(1-2): 67-77.
- Wade, A., Weller, P. J. (Eds.), (1994). *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. American Pharmaceutical Association, Washington, DC.
- Watson, D.J (1958). The dependence of net assimilation rate on leaf area index. *Annals of Botany*. 22: 37-54.
- Wu, H. Wu, I. and Chang, F. (2001). The interaction behavior of polymer electrolytes composed of poly(vinyl pyrrolidone) and lithium perchlorate (LiClO₄). *Polymer*. 42: 555-562.
- Xiaozhao Hana, Sensen Chena, Xianguo Hub. (2009) Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating. *Desalination* 240: 21-26.
- Yamaguchi, A., Miyazawa, T., Shimanouchi, T. and Mizushima, S. (1957). Normal vibrations of urea and urea-*d*₄. *Spectrochimica Acta*. 10: 170-178.

Zhang, J. P., Wang, Q., and Wang, A. Q. (2007). Synthesis and characterization of chitosan-g-poly(acrylic acid)/attapulgite superabsorbent composites. Carbohydrate polymers. 68: 367-374.

ประวัติผู้วิจัย

Name: Chokchai Wanapu (Intapruk)

Sex: Male

Nationality: Thai

Religion: Buddhism

Home Address: 114/246 Ratchsima-Pakthongchai Road, Nong Ja Bok, Muang, Nakhon ratchasima 30000, Thailand.

Present Status: Assistant Professor in Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

Education Background and Experience:

From 1978 - 1982: B.Sc. (Chemistry) from Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiangmai University, Chiangmai, Thailand.

From 1982 - 1984: M.Sc. (Biochemistry) from Department of Biochemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, Thailand.

From 1991 - 1994: Ph.D. (Engineering in Biotechnology) from Department of Biotechnology, Faculty of Engineering, Osaka University, Osaka, Japan.

From 1996 – 1997: Head of Department of Biochemistry, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkla 90110, Thailand.

From 1997 – 1999: Director of Center of Scientific and Equipment, Walailak University, Nakhon Sritummarat 80000, Thailand.

From 1999 – 2001: Director of Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

From 2002 – 2005: Manager of SUT's Farm, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

From 2006 – 2011: Chair, School of Biotechnology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

Scientific Experiences:

Plant and microbial molecular genetics.

Fermentation Techniques

Biopolymers

Symposium:

Krongjai, T. and **Wanapu, C.** (2004) The transformation of chitinase gene into grape plants. The 4th National Symposium on Graduate Research. 94.

Usansa, U., **Wanapu, C.** and Boonkerd.N. (2004) Effect of alcoholic fermentation temperature on red wine flavor. The 4th National Symposium on Graduate Research. 124.

Wongkalasin, K., **Wanapu, C.** and Rodtong, S. (2004) Selection of malolactic bacteria for wine fermentation. The 4th National Symposium on Graduate Research. 128.

Kuapunyakoon, T., **Wanapu, C.**, Boonkerd, N. and Chervin,C. (2004) What is the gene which expression depends ethylene receptor inhibition in berry of Carbernet Sauvignon at veraison. The 4th National Symposium on Graduate Research. 93.

Cheunkum, O. and **Wanapu, C.** (2002) Production of Lactic acid from cassava solid waste. The 3rd National Symposium on Graduate Research. 633-634.

Sripunya, P. and **Wanapu, C.** (2005) Selection of Yeast Strains Containing β -glucosidase for improving Aroma in Grape Wine. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology, 18 – 20 October 2005, B0100.

- Tasing, K., **Wanapu, C.**, Boonkerd, N., Wongkaew, S. (2005) Transformation of grape calli variety shiraz with *Leucaena chitinase* cDNA. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at SuranareeUniversity of Technology, 18 – 20 October 2005, B0109.
- Wongkalasin, K., **Wanapu, C.** and Rodtong, S. (2005) Selection of malolactic bacteria for wine fermentation. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at SuranareeUniversity of Technology, 18 – 20 October 2005, B0116.
- Lertpinyochaithaworn, N., Sripiromrak, A. and **Wanapu, C.** (2005) Ma-Maow wine production. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at SuranareeUniversity of Technology, 18 – 20 October 2005, B0139.
- Usansa, U., **Wanapu, C.** and Boonkerd, N. (2005) Effect of alcoholic fermentation temperature on red wine flavor. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at SuranareeUniversity of Technology, 18 – 20 October 2005, F0028.
- Wanapu, C.**, Rattana, P., Teumroong, N. and Boonkerd, N. (2005) Success stories of sustainable factory Management for the Thai traditional alcoholic beverage enterprises. In International Symposium on “Corporate sustainability management – approaches and applications” 24-25 November 2005, Bangkok. Session 2B-3: 1-8.
- Boonkerd N., Teumroong, N., **Wanapu C.** and Chankhun Y. (2005) Application of Bio and Bioorganic fertilizers in organic farming systems for sustainable agriculture. In International Symposium on “Corporate sustainability management – approaches and applications” 24-25 November 2005, Bangkok. Session 2B-4: 1-7.
- Muaenjang, T. and **Wanapu, C.** (2006) The study of ethanol production of thermotolerant yeast S1 strain. The 11th Biological Science Graduate Congress, 15-17 December 2006 Bangkok.
- Sripiromrak, A. and **Wanapu, C.** (2006) Isolation and classification of thermotolerant yeast for ethanol production. The 11th Biological Science Graduate Congress, 15-17 December 2006 Bangkok.
- Wasuwan, R., Boonkerd, N. and **Wanapu, C.** (2006) Classification and nitrogen fixation efficiency analysis of *Azolla* species in rice fields of Thailand. The 11th Biological Science Graduate Congress, 15-17 December 2006 Bangkok.
- Usansa, U., **Wanapu, C.** and N. Boonkerd (2005) Effect of alcoholic fermentation temperature on red wine flavor. 31st Congress on Science and Technology of Thailand, Chaing Mai, 2005.

- Usansa U., Burberg, F. Geiger, E., Back W., Tea-umroong, N., **Wanapu, C.** Arendt, E. K., Kreis, S. and Zarnkow, M. (2008) The use of response surface methodology to optimize malting conditions of two black rice varieties (*Oryza sativa* L. indica) as a raw material for gluten- free foods. First International Symposium on Gluten-Free Products and Beverages, Cork, Ireland, September 2008.
- Usansa, U., Burberg, F. Geiger, E., Back W., Tea-umroong, N., **Wanapu, C.** Arendt, E. K., Kreis, S. and Zarnkow, M. (2009) The optimization of malting condition for Thai rice. 10th RGJ- Congress. Pattaya, April 2009.
- Usansa, U., Geiger, E., **Wanapu, C.** and Teaumroong, N. (2009) Improvement of nitrogenous content in wort produced from rice malt. ASBC Annual Meeting, Arizona, USA June 6-10, 2009.
- Kongkaew, A., Wanapu, C. and Usansa, U. (2010) Response surface optimization of wort production for brewing from rice malt using commercial enzymes and malt barley. The 16th Asian Agricultural Symposium on Agricultural Technology: Sufficiency Agriculture, August 25 – 27, 2010, Faculty of Agricultural Technology, KMITL, Bangkok, Thailand.
- Satsum, A, and **Wanapu, C.** (2010) FT-IR study for hydroxyapatite/alginate nanocomposite beads. The 3rd SUT Graduate Conference 2010, November 21 – 23, 2010, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.
- Li, L., **Wanapu, C.**, Huang, X., Huang Q., and Huang, T. (2010) Genetic variation of *Brassica napus* cultivars using SSR markers. The 3rd SUT Graduate Conference 2010, November 21 – 23, 2010, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.
- Kongkaew, A., Wanapu, C., and Usansa, U. (2010) Beer production from rice malt based in pilot scale brewing : chemical and sensorial properties approach. The 3rd SUT Graduate Conference 2010, November 21 – 23, 2010, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.
- Pinpeangchan, S, And **Wanapu, C.** (2012) Controlled releasing of urea fertilizer by biodegradable polymer with convertional encapsulation. BuraphaUniversity International Conference 2012, July 9- 11, 2012, BuraphaUniversity, Chonburi Thailand.

Ditsayabut, P., Kupittayanant P., and **Wanapu, C.** (2012) High selenium-Enriched Yeast Production. Burapha University International Conference 2012, July 9-11, 2012, Burapha University, Chonburi Thailand.

Muaenjang, T., Ponchana P., and **Wanapu, C.** (2012) Improved Enzymatic Hydrolysis of Cassava Residue by Polyethylene Glycol Addition. School of Biotech, IAT, SUT 1st International Colloquium, July 16-20, 2012, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.

Satsum, A, and **Wanapu, C.** (2012) FT-IR study for Aiginate/Hydroxyapatite/latex Nanocomposite Beads. School of Biotech, IAT, SUT 1st International Colloquium, July 16-20, 2012, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.

Pinpeangchan, S, And **Wanapu, C.** (2012) Controlled releasing of urea fertilizer by biodegradable polymer with conventional encapsulation. School of Biotech, IAT, SUT 1st International Colloquium, July 16-20, 2012, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.

Ditsayabut, P., Kupittayanant P., and **Wanapu, C.** (2012) High selenium-Enriched Yeast Production. School of Biotech, IAT, SUT 1st International Colloquium, July 16-20, 2012, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.

Pliansrithong P., Usansa U., and **Wanapu, C.** (2012) Protein Properties in Broken Rice for optimizing of Rice Ratio in Beer Production. School of Biotech, IAT, SUT 1st International Colloquium, July 16-20, 2012, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.

Lertpinyochaithaworn N, and **Wanapu, C.** (2012) Effect of ethanolic on black-kernal rice flavonoids character. School of Biotech, IAT, SUT 1st International Colloquium, July 16-20, 2012, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.

Scientific Publication:

Intapruk, C., Tirawanchai, N., Wilairat, P. and Panyim, S. (1984) Application of cloned malaria parasite DNA in strain identification. Mahidol University Annual Research Abstracts 11, 297.

- Intapruk, C.** (1984) in Manual for international laboratory workshop "Genetic engineering techniques in tropical diseases research" to be published by WHO special programme for research and training in tropical diseases, 195-204.
- Wilairat, P., Tirawanchai, N., **Intapruk, C.**, Tungpradubkul, S. and Panyim, S. (1984) Strain characterization of human malaria parasite, *Plasmodium falciparum*, by the use of a cloned parasite DNA probe. *Microbial utilization of renewable resources*. 4, 210-213.
- Tirawanchai, N., **Intapruk, C.**, Wilairat, P., Yuthavong, Y. and Panyim, S. (1985) Cloning of repetitive DNA from *Plasmodium falciparum* and its use in strain and species identification. *Mahidol University Annual Research Abstracts*, 12, 250.
- Intapruk, C.** (1985) in Manual for national laboratory workshop "DNA cloning techniques" (in Thai) to be published by the National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, the Ministry of Science and Technology, 172-188.
- Wilairat, P., Tirawanchai, N., **Intapruk, C.**, Tungpradabkul, S., Sertsrivanich, R., Panyim, S., Yuthavong, Y. (1985) Recombinant DNA techniques as potential diagnostic means. *Ann. Ist. Super. Sanita*. 21, 299-305.
- Sriroongrueng, W. and **Intapruk, C.** (1989) The prenatal diagnosis of thalassemias (in Thai). *Songkla Med J*. 6, 428-435.
- Intapruk, C.**, Higashimura, N., Yamamoto, K., Okada, N., Shinmyo, A. and Takano M (1991) Nucleotide sequences of two genomic DNAs encoding peroxidase of *Arabidopsis thaliana*. *Gene* 98: 237-241.
- Intapruk, C.**, Yamamoto, K., Fujiyama, K., Shinmyo, A. and Takano, M. (1993) Cloning of cDNAs encoding two peroxidases of *Arabidopsis thaliana*. *J Ferment Bioeng* 75: 166-172.
- Shinmyo, A., Fujiyama, K., Kawaoka, A. and **Intapruk, C.** (1993) Structure and expression of peroxidase isozyme genes in horseradish and *Arabidopsis*. In: KG Welinder, SK Rasmussen, C Penel

- and H Greppin, eds, Plant Peroxidases Biochemistry and Physiology. Univ Geneva, Switzerland, pp 222-228.
- Intapruk, C.**, Yamamoto, K., Sekine, M., Shinmyo, A. and Takano, M. (1994) Regulatory sequences involved in the peroxidase gene expression in *Arabidopsis thaliana*. Plant Cell Reports 13: 123-129.
- Intapruk, C.**, Takano, M. and Shinmyo, A. (1994) Nucleotide sequence of a new cDNA for peroxidase from *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiol. 104: 285-286.
- Wanapu, C.** and Shinmyo, A. (1996) *cis*-Regulatory of the peroxidase gene in *Arabidopsis thaliana* involved in root specific expression and responsiveness to high-salt stress. Ann New York Acad Sci. 782 (12): 107-114.
- Rodtong, S.; **Wanapu, C.** and Ishizaki, A. (2000) Starch-utilizing bacteria for L-lactic acid production. The 12th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 52.
- Kanchanatawee, S., **Wanapu, C.** and Ketudat-Cairns, M. (2000) Biotechnology postgraduate program in Thailand. Thai J. Biotechnol. 2, 55-62.
- Sripo, T., Phongdara, A., **Wanapu, C.** and Caplan, A.B. (2002) Screening and characterization of aldehyde dehydrogenase gene from *Halomonas salina* strain AS11. J. Biotech. 95, 171-179.
- Kuapunyakoon, T. and **Wanapu, C.** (2003) Effects of diammonium phosphate (DAP) supplementation on growth rate and ethanol production of *Saccharomyces cerevisiae* K1-V1116 in tamarind wine. Suranaree J. Sci. Technol. 10: 147-151.
- Sripunya, P., **Wanapu, C.** and Boonkerd, N. (2005) Effect of β -glucosidase enzyme in *Saccharomyces cerevisiae* on aroma production during mango (Chok-anan) wine fermentation. Thai J. Biotechnol. 6: 50-56.
- Usansa, U., Sompong, N., **Wanapu, C.**, Boonkerd, N. and Teaumroong, N. (2009) The influences of steeping duration and temperature on the α - and β - amylase activities of six Thai rice malt cultivars (*Oryza sativa* L. indica). J. Inst. Brew. 105 (2) 140-147.

- Teaumroong, N., **Wanapu, C.**, Chankum, Y., Arjharn, W., Sang-Arthit, S., Teaimthaisong, K. and Boonkerd, N. (2010) Production and application of bioorganic fertilizers for organic farming systems in Thailand: A case study. In: Insam, H., Franke-Whittle, I. and Goberna, M. (eds). *Microbs at work: from wastes to resources*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 294-296.
- Usansa, U., Burberg, F., Geiger, E., Back, W., **Wanapu, C.**, Arendt, E.K., Kreis, S., Boonkerd, N., Teaumroong, N. and Zarnkow, M. (2011) Optimization of malting for two black rice varieties, black non-waxy rice and black waxy rice (*Oryza sativa* L. Indica). *J. Inst. Brew.* 117(1), 39–46.
- Vechklang, K., Boonanuntanasarn, S., Ponchunchoovong, S., Pirarat, N. and **Wanapu, C.** (2011) The potential for rice wine residual as an alternative protein source in a practical diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the juvenile stage. *Aqua.Nut.*, 17(6), 685-694.
- Li L., **Wanapu, C.**, Huang, X., Huang, T., Li, Q., Peng, Y. and Huang, G. (2011) Comparison of AFLP and SSR for Genetic Diversity Analysis of *Brassica napus* Hybrids. *J. Agri. Sc.* 3(3), 101-110.
- Boonterm, C., **Wanapu, C.**, Silapapun, A. and Boonkerd, N. (2011) Effects of nitrogen, potassium fertilized, and clusters per vine on anthocyanins content in cabernet sauvignon wine. *Suranaree J. Sci. Technol.* 18(1), 41-54.
- Li, L., Huang, X., **Wanapu, C.**, Li, Q., Huang, G. and Huang, T. (2011) Genetic diversity analysis of 25 rapeseed varieties from Guizhou rapeseed regional test by SSR marker. *Guizhou Agri. Sc.* 11, 1-4 (in Chinese).
- Wanapu, C.**, Sripunya, P. and Boonkerd, N. (2012) Selection of yeast strains β -glucosidase for improving wine aroma. *J. Agri. Sc. Technol. B*, 2, 691-702.
- Kongkaew, A., Usansa, U. and **Wanapu, C.** (2012) Beer production from rice malt based in pilot-scale: volatile compounds and sensorial properties analysis. *The Journal of King Mongkut's University of Technology.* 3(1), 86-94.

Kongkaew, A., Usansa, U. and **Wanapu, C.** (2012) Optimization of wort production from rice malt using enzymes and barley malt. *Af. J. Biotech.* 11(42), 9941-9949.

Vechklang, K., Lim, C., Boonanuntanasarn, S., Welker, T., Ponchunchuwong, S., Klesius, P.H. and **Wanapu, C.** (2012) Growth performance and resistance to *Streptococcus iniae* of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets supplemented with GroBiotic-A and Brewtech dried brewers yeast. *J App. Aqua.* 24, 183-198.

Pinpeangchan, S. and **Wanapu, C.** (2015) Impact of nitrogen fertilizer (Encapsulated urea fertilizer) in process of controlled-release their effect on growth of chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey). *GARJ.* 4(4), 173-181.

Patents: 5 Thai patents and 3 Trade Secrets.

