บทที่ 2

เอกสารและผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการศึกษา

ปุ๋ยหมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงในดิน โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ธาตุอาหารแก่พืชหนึ่งหรือหลายธาตุ เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารเพียงพอกับความต้องการที่จะให้ผลผลิตสูงสุด วัตถุหรือสารที่เป็นปุ๋ยส่วนมากก็เข้าใจโดยทั่วไปว่า เป็นสารประกอบเคมีหรือเรียกกันว่าปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ อีกพวกหนึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์พวกเศษพืชและซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยตลอดจนมูลสัตว์ เมื่อใส่ลงไปในดินก็สามารถให้ธาตุอาหารแก่พืชได้ (นิยม, 2543)

ปุ๋ย ความหมายตามพระราชบัญญัติ 2518 (วรพจน์, 2529) หมายถึง สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามสำหรับใช้เป็นธาตุพืชไม่ว่าเป็นวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงการเจริญเติบโตของพืช

แหล่งที่มาของปุ๋ย มีอยู่สองแหล่งใหญ่ ๆ คือ

1. แหล่งที่เป็นอินทรีย์เป็นสาร ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1.1 ได้จากมูลสัตว์ต่างๆ เรียกว่า " ปุ๋ยคอก"

1.2 ได้จากการกองสุมเศษพืช หรือเศษวัสดุเหลือใช้ที่สามารถย่อยสลายตัวได้ แล้วหมักให้สลายตัวจนหมดเรียกว่า "ปุ๋ยหมัก"

1.3 ได้จากการปลูกพืชบำรุงดินพวกพืชตระกูลถั่วและไถกลบหรือเศษพืชที่ถูกดายหญ้าออกไปแล้วนำมากลบเข้าที่เดิม เรียกว่า "ปุ๋ยพืชสด"

2. แหล่งที่เป็นอนินทรีย์สาร ซึ่งได้แก่ สารที่ผลิตหรือสังเคราะห์จากวัตถุดิบที่เป็นหิน แร่ และก๊าซ โดยผ่านกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมี ให้เป็นสารประกอบทางเคมีที่เหมาะสม ที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้ เรียกว่า "ปุ๋ยวิทยาศาสตร์" หรือ "ปุ๋ยเคมี" ซึ่งปกติแล้วจะมีธาตุ N-P-K เป็นส่วนประกอบหลักสำคัญ ๆ อยู่เสมอ

ปุ๋ยมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตอาหารและเส้นใยของประเทศที่ทำอุตสาหกรรมอย่างประเทศไทยมาก ปุ๋ยไนโตรเจนผลิตจากสารตั้งต้นพวกแอมโมเนียเป็นส่วนใหญ่ ปุ๋ยไนโตรเจนที่นิยมมากที่สุด คือ ยูเรีย รองลงมาเป็น แอมโมเนียมไนเตรท และแอมโมเนียมซัลเฟต

ปุ๋ยยูเรีย (NH_2CONH_2) หรือบางทีเรียกว่า คาร์บาไมด์ (Carbamide) ซึ่งเป็นสารพวกอะไมด์ เป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่ไม่มีไอออนเป็นส่วนประกอบ (non-ionic nitrogen fertilizer) การผลิตยูเรียเตรียมได้จากวัตถุดิบ คือ แอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่บริสุทธิ์ในอัตรา 2:1 ถึง 4:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180-210 ^0C และความดัน 40-250 บรรยากาศ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสองขั้นตอน คือ

ขั้นตอนแรก เกิดแอมโมเนียมคาร์บาเมต ดังสมการ

$$2NH_3 + CO_2 \longrightarrow NH_2COONH_4$$

ขั้นที่สอง แอมโมเนียมคาร์บาเมตจะสูญเสียน้ำได้ยูเรีย ดังสมการ

$$NH_2COONH_4 \longrightarrow CO(NH_2)_2 + H_2O$$

เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดจะได้สารละลายยูเรีย ซึ่งจะนำไปผลิตปุ๋ยน้ำหรือเม็ดก็ได้ ในระหว่างที่ระเหยน้ำออกไปและทำให้ปุ๋ยเป็นเม็ดนั้น ยูเรียบางส่วนจะรวมตัวได้สารใหม่ เรียกว่า ไบยูเรต (biuret) ดังสมการ

$$2CO(NH_2)_2 \longrightarrow NH_2CONHCONH_2 + NH_3$$

ไบยูเรต

ปุ๋ยยูเรียเมื่อใส่ลงในดิน ยูเรียจะไฮโดรไลส์เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนตโดยเร็ว ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเร็วถ้ามีเอนไซม์ยูริเอส (urease) ดังสมการ

$$NH_2CONH_2 + 2H_2O \longrightarrow (NH_4)_2CO_3$$

ยูเรียเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่ายและให้ผลตกค้างในดินเป็นกรด ปุ๋ยยูเรียมีไนโตรเจนประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนสูง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบราคาของไนโตรเจนต่อหน่วยแล้วยูเรียเป็นปุ๋ยที่มีราคาถูกกว่าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและปุ๋ยไนโตรเจนชนิดอื่นๆที่เป็นของแข็งยูเรียดูดความชื้นจากอากาศได้ด แต่เมื่อได้เอาผลึกเคลือบผิวด้วยวัสดุเฉื่อยแล้วจะทำให้ปุ๋ยยูเรียไม่จับตัวเป็นก้อนไม่ชื้นง่ายและมีคุณภาพเหมาะสำหรับการเก็บรักษาและการใช้ประโยชน์

การสูญเสียไนโตรเจนเกิดได้หลายทาง คือ

1. พืชดูดน้ำนำไปใช้
2. สูญเสียเนื่องจากการชะล้าง (leaching)โดยเฉพาะในรูปของNO_3^- มากกว่าอยู่ในรูปNH_4^+
3. การกลายเป็นก๊าซกลับไปในอากาศ ไนโตรเจนจะระเหยกลับไปสู่ในอากาศในรูปของโมเลกุล N_2, N_2O และ NO และ NH_3 ทั้งนี้เกิดเพราะปฏิกิริยาชีวเคมี เกิดขึ้นได้ 3 กระบวนการ คือ

. Denitrification เกิดขึ้นโดย reduction ของไนเตรท(NO_3^-)ในสภาพที่น้ำขัง สภาพไร้อากาศ ดังสมการ

$$2HNO_3 \xrightarrow{-2(o)} 2HNO_2 \xrightarrow[-H2O]{-2(o)} NO_2 \xrightarrow{-(o)} N_2 \xrightarrow[-H2O]{-(o)} 2NO$$

. ปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับ NO_2 ในสภาพมีอากาศ

$$3HNO_2 \longrightarrow 2NO + HNO_3 + H_2O$$

. การระเหยของก๊าซแอมโมเนียจากผิวดิน ที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง

$$NH_4^+ + H_2O + OH^- \longrightarrow NH_3 + 2H_2O$$

กระบวนการทางเคมีของปุ๋ยยูเรีย

$$2\,HNO_2 + CO(NH_2)_2 \longrightarrow CO_2 + 3H_2O + 2N_2$$

$$M_2^+ + NO_2^- + 2H^+ \longrightarrow M_3^+ + NO + H_2O$$

(transition metal)

ปุ๋ยที่ถูกควบคุมการปลดปล่อย ปุ๋ยที่ถูกควบคุมการใช้งานหรือปุ๋ยปลดปล่อยอย่างช้า (Controlled release fertilizers, Controlled-availability fertilizers, Slow release fertilizers) คือ ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของหนึ่งธาตุหรืออาจมากกว่าหนึ่งธาตุเป็นสารที่ละลายในดินได้อย่างจำกัด ปุ๋ยดังกล่าวจึงสามารถยอยปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชได้นานตามที่กำหนดไว้ หากควบได้อย่างสมบูรณ์แบบแล้วปุ๋ยสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในปริมาณที่พอเหมาะกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต (ยงยุทธ, 2542)

การควบคุมการปลดปล่อยมีความสำคัญ ดังนี้

1. เพื่อลดการสูญเสียในรูปของก๊าซ, denitrofication และการชะล้าง
2. เพื่อให้พืชได้รับอาหารในอัตราที่เหมาะสมต่อความต้องการ
3. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตผลิตผลทางการเกษตร
4. ลดอัตราการสูญเสียจากการงอกของเมล็ดเนื่องจากความเข้มข้นของปุ๋ยสูงมากเกินไป
5. ป้องการเกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการชะล้างของปุ๋ย
6. เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการเก็บและสมบัติอื่นๆ

วิธีการควบคุมการปลดปล่อย มีดังนี้

1. การคิดค้นวิธีการสังเคราะห์ปุ๋ยที่มีความสามารถในการละลายได้ช้าลงและมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆทั้งนี้ขึ้นกับขนาดของเม็ดปุ๋ยและสมบัติของดิน เช่น การหลอมปุ๋ยเข้ากับสารประกอบพวกซิลิเกตออกไซด์และคาร์บอเนต หรือการทำปฏิกิริยาคอนเดนเซชันระหว่างยูเรียกับหมู่อัลดีไฮด์ เช่น ปุ๋ยยูเรียฟอร์ม ปุ๋ยไอโซบิวทีลิดีนและปุ๋ยหินฟอสเฟต

2. ใช้ปฏิกิริยา Nitrifying organism ยับยั้งการสูญเสียไนโตรเจน เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจนจากปฏิกิริยา denitrification หรือการป้องกันไม่ให้เกิดกระบวนการ nitrification โดยใช้ nitrification inhibitor ได้แก่ N-serve, Cyaoquanidine เป็นต้น

3. ใช้สารที่ไม่ละลายน้ำเป็นสารหุ้มเคลือบ (Encapsulation) เพื่อลดอัตราการปลดปล่อยของธาตุอาหารได้ตามความเหมาะสมโดยใช้สารพวกขี้ผึ้ง พาราฟินส์ แอสฟัสท์ พอลิเอททิลีน ยางสังเคราะห์ ยางธรรมชาติและเม็ดปุ๋ยที่เคลือบเมื่อสัมผัสกับน้ำในดิน น้ำในดินจะค่อยๆ ซึมผ่านเปลือกที่ห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยนั้นเป็นสารละลายเกลือที่เข้มข้นภายในเปลือกที่ห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ดทำให้เกิดความดันออสโมซิสขึ้นภายในและมีผลทำให้เปลือกหรือสารเคลือบนั้นแตกร้าว เนื้อปุ๋ยค่อยละลายลงสู่ดินอย่างต่อเนื่องและเป็นระยะเวลายาวนาน ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าในบางชนิดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปุ๋ยไนโตรเจนที่ปลดปล่อยช้าบางชนิด

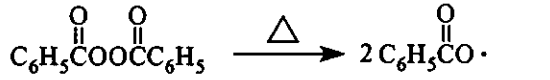
ปุ๋ย	ปริมาณไนโตรเจน	ธาตุอาหารอื่น	วิธีควบคุมการปลดปล่อย
Isobutylene-diurea(IBDU)	31	ไม่มี	ควบคุมการละลายโดยขนาดอนุภาค
ออสโมคอส	14-18	5-14 P_2O_5 11-14 K_2O	เคลือบด้วยเรซิน
ยูเรียเคลือบด้วยกำมะถัน	32-37	16-20 S	เคลือบด้วยกำมะถัน
ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์	35-38	ไม่มี	ควบคุมการละลายโดยขนาดอนุภาคและอัตราการสลายตัว

การห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย poly(acrylamide-*co*-ethylene glycol dimethacrylate) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียออกมาอย่างช้าๆ ซึ่งปฏิกิริยาการพอลิเมอร์ไรซ์เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่

(free radical polymerization) ระหว่างโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ acrylamideและ ethylene glycol dimethacrylate สารที่ใช้เป็นตัวริเริ่มในปฏิกิริยานี้เป็นสารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ คือ benzoyl peroxide พอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูลประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. Intiation ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

1.1 การเกิด free radical คือ การทำให้เกิด free radical ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยาซึ่งเกิดจากตัวริเริ่ม (initiator) โดยความร้อนทำให้พันธะ -O-O- ของ benzoly peroxideสลายให้ free radical ซึ่งทำหน้าที่ริเริ่มปฏิกิริยาลูกโซ่ ดังสมการ

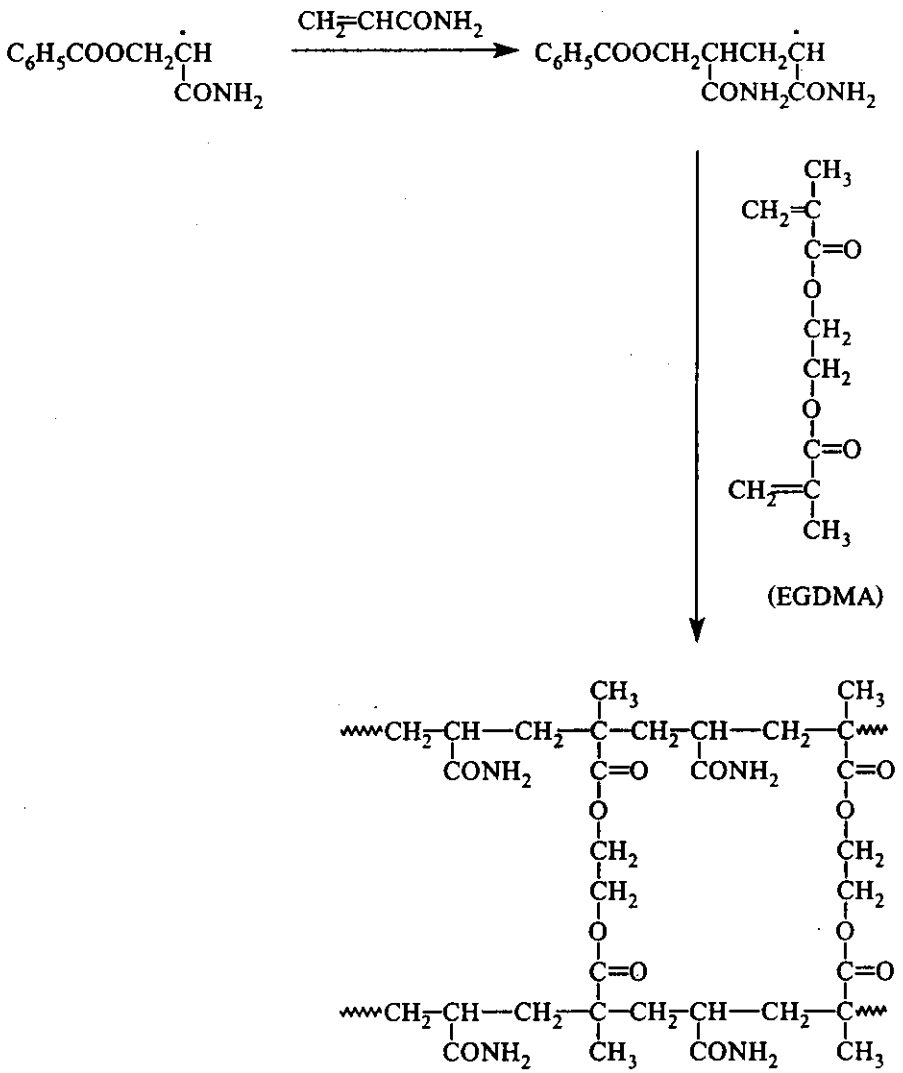


Benzoyl peroxide Bezoyloxy radical

1.2 Bezoyloxy radical ที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์ ดังนั้น

(I)

2. Propagation และ Termination เป็นกระบวนการ free radical (I) ที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับอะคริลาไมด์อีกโมเลกุลหนึ่งแล้ว free radical ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยาต่อกับทำปฏิกิริยากับ ethylene glycol dimethacrylate ซึ่งเป็น crooslinker โดยทำหน้าที่เหมือนกับอีกมอนอเมอร์หนึ่ง ในขั้น termination คาดว่าเกิดพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายที่มีโครงสร้างดังนี้



Poly(acrylamide –*co*- ethylene glycol dimethacrylate)

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

Hepburn and Arizal (1988) ศึกษาวิธีการผสมปุ๋ยยูเรียเข้าไปในยางธรรมชาติเพื่อให้เกิดโครงสร้างตาข่ายของยางห่อหุ้มปุ๋ยโดยใช้เทคนิคการผสมชนิดพิเศษที่เรียกว่า split-feeding การทดลองพบว่าอุณหภูมิในการผสมและอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม คือ 70-80 °C และ 95 °C ตามลำดับ

Helaly and Abo-Elela (1990) ศึกษาการปลดปล่อยฟอสเฟตจากสูตรยาง SBR 2 ชนิดซึ่งประกอบด้วย potassium dihydrogen phosphate ในน้ำ สูตรยางผสมปุ๋ยฟอสเฟตได้จากการผสมสาร

ดังกล่าวใน two roll mill ที่อุณหภูมิ 50 °C พบว่าอัตราการปลดปล่อยในน้ำเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ อัตราการปลดปล่อยตอนเริ่มต้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนปริมาตรพื้นผิวของสูตรยางที่ใช้

ไพโรจน์, มนัสและกัลยาณี (2537) ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติโครงร่างตาข่ายห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย เพื่อใช้ระบบการปลดปล่อยโดยการผสมยูเรียในอัตรา 300 และ 600 ส่วนในยาง SRT 5L 100 ส่วน ที่มีความหนืดต่ำและสารเคมีผสมยางในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งโดยวิธีการผสมแบบ conventional และ split feeding พบว่ายางธรรมชาติในอัตราส่วนผสม 300 ส่วนในยาง 100 ส่วนที่มีการผสมแบบ conventional มีอัตราการปลดปล่อยหลังจากการแช่น้ำ 1 ชั่วโมงเป็นร้อยละ 40.06 ในขณะที่การผสมแบบ split feeding มีการปลดปล่อยเพียงร้อยละ 20.35 นอกจากนี้อุณหภูมิและเวลาในการวัลคาไนซ์มีผลต่อการปลดปล่อยยูเรีย โดยอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม คือ 110 °C และเวลาที่เหมาะสม คือ 10 นาที นอกจากนี้พบว่าโครงสร้างของยางผสมยูเรียแบบ split feeding เป็นเซลล์ปิด

Kuriakose and Pillai (1994) ศึกษาการห่อหุ้มสารอินทรีย์ในโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์เพื่อทางเลือกหนึ่งในการกำหนดการสังเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ พบว่าการห่อหุ้มสารอินทรีย์ที่มีผลในโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการสังเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่จำเพาะของพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายของแบบ copolymerization ของ styrene กับ divinylbenzene (DVB), butanediol dimethacrylate (BDDMA) และ ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) ในสภาวะที่มีเบนซินละลายอยู่เป็นผลให้การรวมตัวของ Benzil–encapsulated ของ Styrene–BVD, Styrene–BDDMA และ Styrene-EGDMA ที่เป็นโครงร่างตาข่ายในระบบพอลิเมอร์ Benzil–encapsulated ของพอลิเมอร์ที่ถูกสังเคราะห์มีความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายปริมาณต่างกันขึ้นอยู่กับการปรับอัตราส่วนระหว่าง monomer กับ crosslinker และศึกษาลักษณะเบนซินที่ยึดติดกับพอลิเมอร์โดยการวิเคราะห์ด้วย spectral และกล้อง SEM ผลการสังเกตอธิบายอยู่ในเทอมของขนาดโมเลกุล และช่องว่างโครงร่างตาข่ายที่มีรูปแบบจำเพาะกับแม่แบบพอลิเมอร์

Abraham and Pillai (1996) ศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียด้วยการห่อหุ้มด้วยเมมเบรนของพอลิอะคริลาไมด์ 4 ชนิด คือ acrylamide กับ divinylbenzene, N,N'-ethylenebisacrylamide, tetraethylene glycol diacrylate หรือ pentaerythrytol triacrylate และใช้ wax กับ styrene (ที่ชื่อว่าทางการค้าว่า Thermocol) เป็นสารเคลือบ จากการทดลองพบว่ายูเรียที่ห่อหุ้มด้วยด้วยโคพอลิเมอร์ระหว่าง acrylamide และ tetraethylene glycol diacrylate ซึ่งเตรียมโดยวิธี free-radical solution polymerization และใช้ wax กับ polystyrene เป็นสารเคลือบมีคุณสมบัติควบคุมการปลดปล่อยที่ดีสุด

Tangboriboonrat and Sirichaiwat (1996) ศึกษาการห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเพื่อควบคุมการปลดปล่อย พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยยูเรีย คือ ชนิดช่องว่างภายในยาง ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและความเข้มข้นริเริ่มของยูเรีย อัตราการปลดปล่อยยูเรียต่ำสุดเมื่อใช้ยางที่ไม่ผ่านการวัลคาไนซ์ สามารถปลดปล่อยยูเรียได้นานประมาณ 50 วัน ปริมาณความเข้มข้นของยูเรียสูงสุดที่ห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียได้ร้อยละ 80

Huett and Gogel (2000) ศึกษาระยะเวลาและรูปแบบการปลดปล่อยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ (polymer-coated controlled release fertilizer) เพื่อควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยจากสูตรปุ๋ยชื่อ Nutrcote, Apex Gold, Osmocote และ Macrcote ที่อุณหภูมิ 30.6 $\pm$ 0.8 ^{0}C และ 40.0 $\pm$ 1 5 ^{0}C โดยใช้สารดังกล่าวปริมาณ 5 กรัมใส่ใน silica sand column ขนาด 280 x 50 มม.ที่ความลึก 50 มม. ซึ่งล้างด้วยกรดและ deionized water จากการทดลองพบว่า Apex Gold มีการปลดปล่อยไนเตรทได้นานที่สุด 12.14 เดือนที่อุณหภูมิ 30 ^{0}C และแนวโน้มการปลดปล่อย P > K > N อัตราการปลดปล่อยระหว่าง P กับ N มีค่ากว่า 0.10 ในช่วงแรกของการปลดปล่อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ (40^{0}C) ทำให้ระยะเวลาการปลดปล่อยน้อยลง การปลดปล่อยธาตุอาหารไม่มีความสม่ำเสมอ อัตราการปลดปล่อยสูงสุดในระยะแรกของการปลดปล่อยและลดลงอย่างสม่ำเสมอหลังจากการปลดปล่อยมากที่สุด