บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนิดของปุ๋ย

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ยฉบับที่ 2 ปี 2550 ซึ่งได้แบ่งประเภทของปุ๋ยออกเป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ

1) ปุ๋ยเคมี หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักธาตุเดียว ปุ๋ยเชิงผสมหรือปุ๋ยเคมีที่ได้จากการผสมเพื่อให้ได้ธาตุอาหารพืชตามที่ต้องการ และปุ๋ยเชิงประกอบหรือปุ๋ยเคมีที่ทำด้วยกรรมวิธีทางเคมีเพื่อให้ได้ธาตุอาหารพืชสองธาตุขึ้นไป

2) ปุ๋ยอินทรีย์ หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีอื่น และวัสดุอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ที่รู้จักกัน ได้แก่ ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก

3) ปุ๋ยชีวภาพ หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์ต่อพืช มาใช้ในการปรับปรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี และให้รวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ ไรโซเบียม ไมโคไรซ่า พีจีพีอาร์ และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ปุ๋ยเคมี

การจำแนกปุ๋ยเคมีตามความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช (ปิยะ, 2538) แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

1) ปุ๋ยละลายเร็ว หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดี พืชสามารถดูดใช้ได้ทันทีในปริมาณมากหลังจากมีการใส่ปุ๋ยลงดิน ธาตุอาหารพืชทั้งหมดที่มีตามสูตรสามารถละลายน้ำหรืออยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

2) ปุ๋ยกึ่งละลายช้าละลายเร็ว หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่มีเนื้อบางส่วนละลายน้ำได้ดี และบางส่วนไม่ละลายน้ำ

3) ปุ๋ยละลายช้า (slow release) หมายถึง ปุ๋ยที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยตามธรรมชาติ แต่เมื่อมีการใส่ลงดิน ธาตุอาหารพืชในส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลง และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ประสิทธิภาพน้อยตามธรรมชาติ แต่เมื่อมีการใส่

ลงดิน ธาตุอาหารพืชในส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลง และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ประสิทธิภาพของปุ๋ยขึ้นอยู่กับชนิดปุ๋ย ขนาดและความละเอียดของเม็ดปุ๋ย ความชื้นในดิน ปฏิกิริยาดิน กิจกรรมของจุลินทรีย์ รวมทั้งสมบัติและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ในดิน ตัวอย่างปุ๋ยละลายช้า ได้แก่ ไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สังเคราะห์ต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยไอโซบิวทิลีดีน ไดยูเรีย (Isobutylidene diurea, IBDU) และปุ๋ยยูเรียฟอร์ม (Ureaform)

4) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร (Control release) หมายถึง การพัฒนากรรมวิธีการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดที่มีคุณสมบัติตามธรรมชาติ อยู่ในรูปละลายเร็ว แต่ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้ในระดับหนึ่ง โดยการห่อหุ้มหรือเคลือบเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ดหรือหลาย ๆ เม็ดด้วยสารบางอย่าง เช่น กำมะถันเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย (sulfur coated urea) หรือใช้สารเฉื่อยชนิดต่าง ๆ เช่น โพลีเอททีลีน (polyethelene) อะคริลิคอาซิเตต (acrylic acetate) สารเรซิน (resins) ขี้ผึ้ง (waxes) และพาราฟิน (parafins) เคลือบเม็ดปุ๋ยหรือ แต่ละเม็ดถูกหุ้มหุ้มกลุ่มเม็ดปุ๋ย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยเดี่ยวไนโตรเจน เช่น ปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท ตัวอย่างปุ๋ยเคมีประเภทที่มีการหุ้มผิว เม็ดปุ๋ยละลายเร็วแต่ละเม็ดด้วยสารเฉื่อยที่มีจำหน่ายในประเทศไทยคือ ปุ๋ยออสโมโคท (osmocote) ปุ๋ยชนิดนี้เป็นปุ๋ยเม็ด แต่ละเม็ดถูกหุ้มหลาย ๆ ชั้น ด้วยสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปสารโพลีเมอร์ในกลุ่มเรซิน (resin) เมื่อใส่ลงไปในดิน เม็ดปุ๋ยจะสัมผัสกับน้ำในดิน ทำให้น้ำในดินซึมผ่านเปลือกที่หุ้มเม็ดเข้าไปในเม็ดปุ๋ย แล้วละลายตัวปุ๋ย เกิดเป็นสารละลายเกลือที่เข้มข้นภายในเปลือกของปุ๋ยแต่ละเม็ด ในสภาพเช่นนี้จะทำให้เกิดความดันออสโมซิส (osmosis pressure) ขึ้นภายใน และเมื่อมีความดันสูงจนถึงระดับหนึ่ง จะมีผลทำให้น้ำปุ๋ยในรูปสารละลายค่อย ๆ แพร่ซึมผนังเปลือกเม็ดปุ๋ยที่ปริร้าวออกมาภายนอก กล่าวคือ ออกมาสัมผัสดินและสารละลายอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอเป็นระยะเวลายาวนาน ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ อัตราการแพร่ซึมออกมาของเนื้อปุ๋ยจะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดและความหนาของสารที่ใช้เป็นเปลือกหุ้มผิวเม็ดปุ๋ยต่าง ๆ (ปิยะ, 2538 ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารเริ่มนำเข้าทดลองในพืชผักและผลไม้ของประเทศไทยอีกชนิด ได้แก่ ปุ๋ยของบริษัทไฮฟ่า เคมีคัล จำกัด ชื่อทางการค้า มัลติโคท (Multicote) เป็นปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารโพลีเมอร์ชนิดใหม่ คือ สารโพลียูรีเทน (Polyurethane) โดยการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยมัลติโคทจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของดินและวัสดุปลูกเท่านั้น ส่วนปัจจัยด้านอื่น ๆ ได้แก่ คุณสมบัติของดิน pH ของดิน เนื้อดิน ความชื้น จุลินทรีย์ในดิน ไม่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยดังกล่าว การใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารมีข้อดีคือ 1) ลดความเป็นพิษของปุ๋ย ส่งผลให้เกษตรกรประหยัดค่าใช้จ่าย (Aglukon, 1992 and 1993; Grace Sierra, 1993 and 1994) 2) สนับสนุนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเกษตรกรในการพัฒนาโปรแกรมระบบการจัดการปุ๋ยโดยไม่ต้องมีการไถพรวนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคลือบด้วยมัลติโคทเพียงครั้งเดียว 3) การใช้ปุ๋ย

เพียงครั้งเดียวส่งผลให้มีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการของพืชที่ปลูกโดยใช้พลาสติกคลุมตลอดฤดูปลูก 4) ลดการสูญเสียธาตุอาหารไนโตรเจนในรูป ไนเตรทและลดการสูญเสียที่เกิดจากการระเหยเป็นแก๊สแอมโมเนีย ส่งผลให้ลดความเสี่ยงในการทำลายสิ่งแวดล้อมลง (Koshino, 1993) 5) ลดการแพร่ของก๊าซ (N_2O) (Shaviv and Mikkelsen, 1993) ซึ่งปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของพืช และเพิ่มผลผลิตในพืชสวนได้ การใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในมะเขือเทศโดยการใส่ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยโพลิเมอร์ ร้อยละ 6 ให้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบถึงร้อยละ 67 มากกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยกำมะถันร้อยละ 45 และการใช้ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในต้นส้มสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ โดยสามารถ ลดความถี่ในการใช้ปุ๋ยลงจากการใส่ปุ๋ยจำนวน 15 เหลือการใสปุ๋ยจำนวน 6 ครั้ง โดยต้นส้มยังสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (Zekri., 1991a, 1991b) และ Shaviv and Mikkelsen (1993) พบว่า การใช้ปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยโพลิเมอร์สามารถเพิ่มธาตุไนโตรเจนที่มีประโยชน์ได้ และลดการทำลายสิ่งแวดล้มลง โดยการใช้ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน

การใช้ปุ๋ยกับมันสำปะหลัง

การใช้ปุ๋ยเคมี

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงในดิน จะมีโอกาสสูญเสียไปมากกว่าครึ่งหนึ่งสำหรับธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม ส่วนฟอสฟอรัสนั้นพืชดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่ใส่ลงไปในดิน ฟอสฟอรัสที่เหลือทั้งหมดจะทำปฏิกิริยากับดินกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก พืชดึงดูดไปใช้ไม่ได้ ดังนั้น การใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินเพื่อให้พืชสามารถดึงดูดไปใช้ได้มากที่สุดและสูญเสียน้อยที่สุด จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดย ปุ๋ยชนิดเดียวกันและสูตรเดียวกันใส่ลงในดินด้วยวิธีแตกต่างกัน พืชจะใช้ประโยชน์จากปุ๋ยเคมีได้ไม่เท่ากัน ตัวอย่าง ปุ๋ยที่ใส่แบบหว่านจะให้ผลแตกต่างจากปุ๋ยที่ใส่แบบโรยเป็นแถวหรือเป็นจุดใกล้พืช ดังนั้น การใช้ปุ๋ยเคมีให้มีประสิทธิภาพจึงควรยึดหลักเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของปุ๋ยเคมี หมายถึง เรโช สูตร และรูปของธาตุอาหารในปุ๋ยตามที่ต้องการ ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้แนะนำ เรโชปุ๋ยที่เหมาะสมกับมันสำปะหลัง คือ 2:1:2 ซึ่งหมายถึงสัดส่วนเปรียบเทียบกันระหว่างไนโตรเจน (N) กับฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) สูตรปุ๋ยหรือเกรดปุ๋ยที่แนะนำ ได้แก่ 15-7-18 หรือ 16-8-14 หรือถ้าหาปุ๋ยเคมีสูตรดังกล่าวไม่ได้สามารถใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 แทนได้ ซึ่งมีขายอย่างแพร่หลายตามท้องตลาดทั่วไป

2. ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี หมายถึง อัตราปุ๋ยต่อไร่ที่เหมาะสมในการผลิตมันสำปะหลัง ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้แนะนำดังนี้ (1) ดินทราย ใช้อัตรา 90 กิโลกรัมต่อไร่ (2) ดินร่วนปนทราย ใช้อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ (3) ดินร่วนปนเหนียว ใช้อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (4) ดินเหนียวสีแดง ใช้อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และ(5) ดินเหนียวสีดำ ใช้อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่

3. ระยะเวลาการใส่ปุ๋ยเคมี หมายถึง การใส่ปุ๋ยในช่วงเวลาที่พืชต้องการ มันสำปะหลังต้องการธาตุอาหารมากในช่วง 3 เดือนแรกหลังจากปลูกเพื่อใช้ในการสร้างทรงพุ่มใบ ดังนั้น เวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ย คือ 30 วันหลังปลูก หรือใช้รองพื้นร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ก่อนยกร่องปลูกมันสำปะหลังก็ได้

4. วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี หมายถึง การใส่ปุ๋ยตรงจุดที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายและเร็วที่สุด และลดการสูญเสียปุ๋ยจากการชะล้างด้วยน้ำ สำหรับมันสำปะหลังต้องขุดหลุมสองข้างลำต้น ระยะห่างลำต้นเท่ากับรัศมีพุ่มใบ ใส่ปุ๋ยแล้วฝังกลบดิน หรือใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูก โดย โรยเป็นแถวตามแนวที่จะยกร่อง แล้วยกร่องกลบทับปุ๋ยทั้งสอง โดยปุ๋ยอินทรีย์จะทำหน้าที่ดูดซับปุ๋ยเคมีไม่ให้ถูกชะล้างลงสู่ใต้ดินได้ง่าย

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น โดยเฉพาะความพรุนของดินทำให้ดินร่วนซุยขึ้น เป็นผลให้มีอากาศถ่ายเทในชั้นของรากพืชได้มากขึ้น มีความสามารถในการอุ้มน้ำของดินได้ดี ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในดินได้นานและค่อยปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้า ๆ จึงมีโอกาสสูญเสียน้อยกว่าปุ๋ยเคมี ช่วยส่งเสริมให้จุลชีพหรือสิ่งที่มีชีวิตในดินเจริญเติบโตได้ดี หรือเรียกตามภาษาชาวบ้านว่าช่วยส่งเสริมให้ดินมีชีวิตขึ้นหรือดินไม่ตายนั่นเอง โดยสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะช่วยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ กลายเป็นธาตุอาหารให้กับพืช นอกจากนี้ ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยส่งเสริมการใช้ปุ๋ยเคมีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดย มีธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมอยู่เกือบครบตามความต้องการของพืชด้วย

ปุ๋ยพืชสด หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากพืชที่เราปลูกบนดินเมื่อโตขึ้นก็จะไถกลบพืชนั้นลงดิน โดย มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารให้กับดิน พืชที่แนะนำให้ปลูกเพื่อใช้เป็นปุ๋ยพืชสดให้กับมันสำปะหลังมักจะใช้พืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ปอเทือง ถั่วพร้า และถั่วมะแฮะ โดย ไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดขณะออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ จะให้น้ำหนักสด 3-4 ตันต่อไร่ คิดเป็นธาตุไนโตรเจน 15 - 20 กิโลกรัมต่อไร่

ปุ๋ยคอก หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากมูลและปัสสาวะจากสัตว์ ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยคอกจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์และชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยง ปุ๋ยมูลไก่ ค้างคาว และเป็ด จะมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าปุ๋ยมูลหมู และปุ๋ยมูลหมูจะมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าปุ๋ยมูลวัวและควาย ปุ๋ยคอกที่ใหม่จะมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าปุ๋ยคอกที่เก่าและเก็บไว้นาน เนื่องจากปุ๋ยคอกละลายและถูกชะล้างได้ง่าย บางส่วนก็กลายเป็นก๊าซสูญหายไปในอากาศ ดังนั้น ควรเก็บรักษาอย่างระมัดระวังก่อนนำไปใช้ เพื่อช่วยรักษาคุณค่าของปุ๋ยคอกไม่ให้เสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว ปุ๋ยคอกที่เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังนิยมใช้กันอย่างแพร่ คือ ปุ๋ยมูลไก่ โดย ในดินทรายร่วนและดินร่วนปนทราย ใช้อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่ สำหรับดินร่วนปนเหนียว ดินเหนียวสีน้ำตาลหรือแดง และดินเหนียวสีดำ ใช้อัตรา 0.5 - 1.0 ตันต่อไร่ โดยปุ๋ยมูลไก่ให้ธาตุไนโตรเจน 2.42 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 6.29 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 2.11 เปอร์เซ็นต์

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการหมักของเศษซากพืชหรือสัตว์ เพื่อให้เกิดการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ แล้วแปรสภาพเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กที่มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง ปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารหลัก N P และ K ต่ำมากเมื่อเทียบปุ๋ยเคมี และมีธาตุอาหารหลักต่ำกว่าปุ๋ยคอกด้วย ดังนั้นอัตราการการใช้ปุ๋ยหมักจะมากกว่าการใช้ปุ๋ยคอก โดย ในดินทรายร่วนและดินร่วนปนทราย ใช้อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ สำหรับดินร่วนปนเหนียว ดินเหนียวสีน้ำตาลหรือแดง และดินเหนียวสีดำ ใช้อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่

การใช้ปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยที่ได้จากจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดย สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช รวมทั้งมีความสามารถในการผลิตฮอร์โมนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน มีจุดเด่น 4 ประการ คือ 1) มีจุลินทรีย์พวก *Azotobacter* sp. อยู่ได้เองตามธรรมชาติ สามารถเพิ่มธาตุไนโตรเจนด้วยการตรึงจากอากาศแล้วนำมาเปลี่ยนรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ 2) มีจุลินทรีย์พวก *Burkholderia* sp. มีความสามารถละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ในดินให้ออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น 3) มีจุลินทรีย์พวก *Bacillus megaterium* สามารถละลายโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปของแร่ในดินเหนียวให้ออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น 4) มีจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่สามารถสร้างฮอร์โมนที่สำคัญต่อพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคติน

สำหรับปุ๋ยชีวภาพแนะนำให้ใช้ พด.12 อัตราการใช้ปุ๋ยชีวภาพขยายเชื้อ 300 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถทำปุ๋ยชีวภาพขยายเชื้อได้ โดย ใช้ปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม รำข้าว 3 กิโลกรัม ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 จำนวน 1 ซอง หนัก 100 กรัม คลุกเคล้ารวมกันโดยมีความชื้นพอเหมาะ ใช้เวลาในการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ 4 วันก็สามารถนำไปใช้ได้ โดย การใช้ปุ๋ยชีวภาพสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ได้ถึง 30-50 เปอร์เซ็นต์

การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และชีวภาพ

การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับมันสำปะหลัง โดยปุ๋ยเคมีควรเลือกใช้อัตราส่วน 2 : 1 : 2 ปุ๋ยเคมีที่แนะนำ ได้แก่ 15-7-18 หรือ 16-8-14 หรือถ้าหาปุ๋ยเคมีสูตรดังกล่าวไม่ได้สามารถใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 แทนได้ ซึ่งมีขายอย่างแพร่หลายตามท้องตลาดทั่วไป ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ที่สลายตัวอย่างสมบูรณ์แล้ว แนะนำให้ใช้ในดินทรายร่วนและดินร่วนปนทราย ใช้อัตรา 2 ตันต่อไร่ ดินร่วนปนเหนียว ดินเหนียวสีน้ำตาลหรือแดง และดินเหนียวสีดำ ใช้อัตรา 1 ตันต่อไร่ หรือถ้าใช้ปุ๋ยมูลไก่แทนปุ๋ยอินทรีย์ที่สลายตัวอย่างสมบูรณ์แล้ว แนะนำให้ใช้ปุ๋ยมูลไก่ในดินทรายร่วนและดินร่วนปนทราย ใช้อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่ สำหรับดินร่วนปนเหนียว ดินเหนียวสีน้ำตาลหรือแดง และดินเหนียวสีดำ ใช้อัตรา 0.5 - 1.0 ตันต่อไร่ สำหรับปุ๋ยชีวภาพแนะนำให้ใช้ พด.12 อัตราการใช้ปุ๋ยชีวภาพขยายเชื้อ 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดย โรยปุ๋ยทั้งสามชนิดเป็นแถวตามแนวที่จะยกร่อง แล้วไถยกร่องกลบทับปุ๋ยทั้งสาม โดยปุ๋ยอินทรีย์จะทำหน้าที่ดูดซับปุ๋ยเคมีทำให้ถูกชะล้างลงสู่ใต้ดินได้ช้า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เพื่อต้องการกระตุ้นให้มันสำปะหลังแตกทรงพุ่มใบคลุมพื้นที่ได้เร็วในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตเพื่อป้องกันการเกิดของวัชพืช

การให้ปุ๋ยทางใบกับมันสำปะหลัง

ปัจจุบันนี้ มีการโฆษณาเพื่อขายปุ๋ยฉีดพ่นทางใบ เพื่อนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังที่เกินความเป็นจริง มักจะพบเห็นตามหน้าสื่อสารมวลชนอย่างแพร่หลาย โดยภาครัฐไม่ใช้มาตรการในการควบคุมอย่างจริงจัง ทำให้เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังส่วนหนึ่งมักคล้อยตามคำโฆษณาดังกล่าว เนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจในหลักการให้ปุ๋ยทางใบที่ถูกต้อง ส่งผลทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มต้นทุนการผลิตมันสำปะหลังโดยไม่จำเป็น ดังนั้น การให้ปุ๋ยทางใบต้องพิจารณาวัตถุประสงค์ในการใช้ 2 ประการ ดังนี้

1. การให้ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งพืชต้องการธาตุเหล่านี้ในปริมาณมาก รากจะมีหน้าที่โดยตรงที่จะดึงดูดจากดินเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช ยกเว้นรากเกิดความเสียหายจากโรคและแมลง การให้ปุ๋ยทางใบเพื่อให้พืชได้รับธาตุเหล่านี้เพียงพอนั้น ต้องฉีดพ่นให้หลายครั้ง ทำให้เสียค่าแรงงานในการฉีดพ่นปุ๋ยมากขึ้น

2. การให้ธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก สังกะสี และแมงกานีส ซึ่งพืชต้องการธาตุเหล่านี้ในปริมาณเล็กน้อยก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ดังนั้น ในพื้นที่ปลูกที่ขาดธาตุอาหารเสริมบางธาตุสามารถฉีดพ่นทางใบ เพื่อปัญหาการขาดธาตุอาหารเหล่านี้ได้ อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารเสริม โดยการฉีดพ่นทางใบเป็นการแก้ปัญหาในระยะสั้นเท่านั้น ในระยะยาวถ้าดินขาดธาตุอาหารเสริมเหล่านี้โดยธรรมชาติก็ควรให้ปุ๋ยทางดินด้วย มิฉะนั้นต้องจัดการฉีดพ่นทางใบเป็นประจำ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองแรงงานและเพิ่มต้นทุนการผลิต

ในพื้นที่ดินด่างหรือดินที่มีแคลเซียมสูงมักจะขาดธาตุเหล็กและสังกะสี มันสำปะหลังมักแสดงอาการขาดธาตุสังกะสีให้เห็นอย่างชัดเจน โดย จะเห็นแถบสีขาวหรือเหลืองบนใบอ่อน พบในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต สามารถแก้ปัญหาด้วยการแช่ท่อนพันธุ์ด้วยซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) ในอัตรา 0.4 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เป็นเวลา 15 นาทีก่อนปลูกแทนการฉีดพ่นด้วยซิงค์ซัลเฟตทางใบ

การสูญเสียธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเมื่อใส่ลงในดิน

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงในดินจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและการเคลื่อนย้ายของปุ๋ยทันที สำหรับปุ๋ยไนโตรเจนจะเคลื่อนที่ได้เร็วมากเพราะละลายน้ำได้ง่าย โดย ไนโตรเจนในรูปของไนเตรทถ้ารากพืชดูดไม่ทันจะถูกน้ำพาออกไปจากชั้นของดินอย่างรวดเร็วจะไม่เกิดประโยชน์ต่อพืชแต่อย่างใด ส่วนไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียจะถูกดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวถูกชะล้างโดยน้ำได้ยาก แต่ถ้าดินมีการถ่ายเทอากาศดีจะถูกแปรรูปด้วยจุลินทรีย์ในดินเกิดปฏิกิริยาเพิ่มออกซิเจนให้กลายเป็นไนเตรทได้ง่าย ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงสู่ดินจะสูญเสียโดยการชะล้างประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนที่ใส่ลงไป

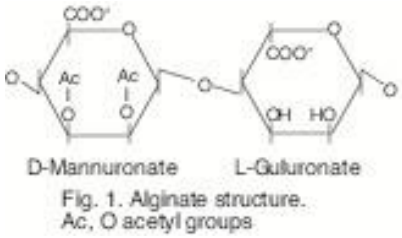
ส่วนธาตุฟอสฟอรัสในปุ๋ยจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดน้อยลงและไม่เคลื่อนย้ายไปไหน ดังนั้น เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตตรงจุดใดก็มักอยู่ตรงจุดนั้น แต่ถ้าจะมีการเคลื่อนย้ายจากเดิมก็ไม่เกิน 5 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตบนผิวดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่าการใส่ใต้ผิวดินในบริเวณที่รากจะแพร่กระจายไปได้ ซึ่งต่างไปจากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่บนผิวดิน ก็สามารถซึมลงมายังบริเวณรากที่ใต้ผิวดินได้ง่าย ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนใต้ผิวดินจึงไม่มีข้อดีไปกว่าการใส่บนผิวดิน สำหรับปุ๋ยโพแทสเซียมจะเคลื่อนย้ายได้ง่ายกว่า

ปุ๋ยฟอสเฟตแต่ช้ากว่าปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยโพแทสเซียมละลายน้ำได้ง่ายเหมือนกับปุ๋ยไนโตรเจน แต่เนื่องจากปุ๋ยโพแทสเซียมมีประจุบวกจึงถูกดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ทำให้ถูกชะล้างได้ยากแต่ก็ยังเป็นประโยชน์ได้ง่ายแก่พืชอยู่ ดังนั้น การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมจึงสามารถใส่บนผิวดินหรือใต้ผิวดินก็ได้ การสูญเสียปุ๋ยโพแทสเซียมโดยการชะล้างจะมีน้อยกว่าปุ๋ยไนโตรเจน

อัลจิเนต (alginate)

อัลจิเนต เป็นเอกโซโพลิแซคคาไลด์ (exopolysacchcaride, EPS) ชนิดหนึ่งที่ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยจำนวน 50 – 200,000 หน่วยของน้ำตาล 2 โมเลกุล คือ mannuronic acid (M) และ guluronic acid (G) ที่เชื่อมกันด้วยพันธะ β-1,4 D-mannuronic acid และ α-1, 4 C-5 epimer α-L-guluronic acid โดยสามารถสกัดได้จากพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณผนังเซลล์ของสาหร่ายทะเล (seaweed) เช่น *Laminaria digitata, L. hyperborean* และ *Macrocystis pyrifera* หรือ สาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) เช่น *Phaeophyceae* sp. นอกจากนั้นยังพบว่ามีแบคทีเรีย 2 กลุ่มที่สามารถผลิตอัลจิเนต ได้ด้วย ได้แก่แบคทีเรียในกลุ่มตรึงไนโตรเจนอิสระที่ไม่ก่อให้เกิดโรค ได้แก่ *Azotobacter vinelandii* และแบคทีเรียกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค ได้แก่ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นต้น อัลจิเนตถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในทางอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งเมื่อนำอัลจิเนต ไปละลายหรือกระจายตัวในน้ำจะทำให้มีความหนืดสูง หรือมีลักษณะเป็นเจล นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเป็น emulsifier, stabilizer, encapsulating agent และหน้าที่อื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารโดยจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และสามารถยืดอายุของอาหาร เป็นต้น นอกจากอุตสาหกรรมอาหารแล้วอัลจิเนต ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ และการแพทย์อีกด้วย เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการทำฟันปลอม (prosthetics dentistry) ใช้ในการทำอวัยวะเทียม (artificial organs) Chang (2003) ได้สรุปการนำอัลจิเนต ไปใช้เป็นเซลล์และอวัยวะเทียม โดยใช้อัลจิเนต ไปทำ crosslink กับโพลีเมอร์ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ alginate-polylysine-alginate สร้างเป็น microcapsules ภายในบรรจุอินซุลินเพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำตาลเพื่อทำหน้าที่เป็นตับเทียม ใช้ทำเป็นเซลล์เทียมเรียนแบบเซลล์ *Escherichia coli* DH5 เพื่อใช้งานทางพันธุวิศวกรรม ใช้ทำเป็นเซลล์เม็ดเลือดแดงเทียมภายในบรรจุฮีโมโกลบิน ใช้เคลือบยาออกฤทธิ์ช้าและเฉพาะที่ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารดูดซับสารพิษ (detoxifier) ซึ่งจะมีความสามารถในการดูดซับสารพิษประเภทโลหะออกจากเลือด และยังถูกนำมาใช้ในการเป็นสารดูดซับของเหลวในการพยาบาลฉุกเฉินเนื่องมาจากคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว สำหรับทางอุตสาหกรรมมีการใช้อัลจิเนต เป็นส่วนประกอบใน

เครื่องสำอาง (cosmetic) ใช้ตรึงเอนไซม์ในอุตสาหกรรมเพื่อให้มีอายุเอนไซม์ยาวนานขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายครั้ง เป็นต้น โดยการตรึงเอนไซม์อาจใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ ชนิดอื่น ๆ อาทิ ไคโตแซน (chitosan) โปรทามีน (protamine) และคาร์บอกซี่เมทธิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose) เป็นต้น (Taqieddin และคณะ, 2002; Taqieddin และ Amiji, 2004; Shu และ Zhu, 2002) ซับของเหลวในการพยาบาลฉุกเฉิน เนื่องมาจากคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว สำหรับทางอุตสาหกรรมมีการใช้อัลจิเนต เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง (cosmetic) ใช้ตรึงเอนไซม์ในอุตสาหกรรมเพื่อให้มีอายุเอนไซม์ยาวนานขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายครั้ง เป็นต้น โดยการตรึงเอนไซม์อาจใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ ชนิดอื่น ๆ อาทิ ไคโตแซน (chitosan) โปรทามีน (protamine) และคาร์บอซี่เมทธิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose) เป็นต้น (Taqieddin และคณะ, 2002; Taqieddin และ Amiji, 2004; Shu และ Zhu, 2002) อัลจิเนต เป็น unbranched binary copolymer ของ 1,4- β -D-manuronic acid (M) และLguluronic acid (G) ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric regions ของ M และ G ที่เรียกว่า G- และ M-blocks ตามลำดับและยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนต เช่น ถ้าโพลิเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงจะมีสมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (polyvalent metal cation) แต่ถ้าโพลิเมอร์มี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่มและมีสภาวะในการเกิดเจล ที่ กว้างกว่าอัลจิเนต ที่ผลิตจำหน่ายเป็นการค้ามีหลายอนุพันธ์จึงมีสมบัติในการละลายน้ำที่แตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ของเกลือ Ca2+, K^+, Na^+, NH_4^+และยังผลิตในรูปของ propylene glycol alginate ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของ alginic acid กับ propylene oxide ภายใต้ความดัน อนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายอัลจิเนต ที่ได้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และการมีโลหะประจุบวก โครงสร้างทางเคมีของอัลจิเนต แสดงในภาพที่ 2.1



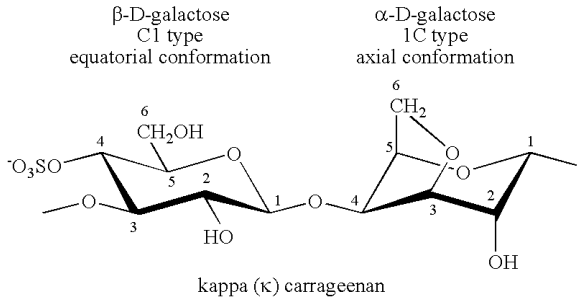
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอัลจิเนต

ที่มา http://www.vcu.edu/micro/lab_web/ohman/research/index.html

คาราจีแนน (carrageenan)

คาราจีแนนเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตเป็นทางการค้า ได้แก่ *Euchema cottonii* และ E. spinosum มีโครงสร้างหลักเป็น galactose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glycosidic linkage และเป็น sulphated polysaccharides ซึ่งคาราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่ม ester sulphate และจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ Kappa, Iota และ Lambda ซึ่ง carrageenan ทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์หลักที่ซ้ำ ๆ กันหลายหน่วย ดังภาพที่ 2.2 Unit-B แสดง 1,3-linked galactoside ในขณะที่ Unit A แสดง 1,4-linked galactoside คาราจีแนนทุกชนิดละลายได้ในน้ำร้อน ถ้าเป็นเกลือ sodium ของ Carrageenan ชนิด Kappa และ Iota จะสามารถละลายได้ในน้ำเย็น ในขณะที่เกลือของอิออนชนิดอื่น ๆ เช่นโปแตสเซียมหรือแคลเซียมไม่สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ ส่วน Carrageenan ชนิด lambda จะละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ขึ้นกับชนิดของอิออน ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ Carrageenan และอิออนที่เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่คาราจีแนนชนิด Kappa และ Iota ต้องใช้อุณหภูมิในการละลายมากกว่า 70 °C นอกจากนี้คาราจีแนนทุกชนิดจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายใน water miscible solvent เช่น alcohol และ propylene glycol

คาราจีแนนชนิด Kappa และ Iota มีความสามารถที่จะเกิดเจลได้เมื่อสารละลายของ คาราจีแนนเย็นตัวลง ซึ่งเจลเหล่านี้จะเป็น thermoreversible aqueous gel คือ สามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง ในปี ค.ศ. 1969 Rees ได้กล่าวว่าเมื่อคาราจีแนนละลายน้ำจะเกิดเจล เนื่องจากเกิดการ form เป็น double helix ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเจล อุณหภูมิและการปั่นกวนจะสามารถทำให้ helices คลายตัวเป็น random coil เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการสร้าง polymer network 3 มิติ แต่ละสายของโพลิเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point (gel I) และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของ junction point (gel II) มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล ดังภาพที่ 3 การเติมโลหะอิออนจะมีผลต่อการเกิดเจล เช่น Kappa carrageenan เมื่อเติม K+ จะเกิด elastic gel ถ้าเติม Ca^{2+} จะเกิด rigid gel ส่วน Iota carrageenan เมื่อเติม Ca^{2+}จะเกิด elastic gel ถ้าผสมคาราจีแนนชนิด Kappa กับ Iota เข้าด้วยกันจะทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลได้มากขึ้น เจลที่ได้มี elastic เพิ่มขึ้นและเกิด syneresis น้อยลง และนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น dessert gels, whipped topping และ fluid milk products



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของคาราจีแนน

ที่มา http://patentimages.storage.googleapis.com/US7276116B2/US07276116-20071002-C00004.png

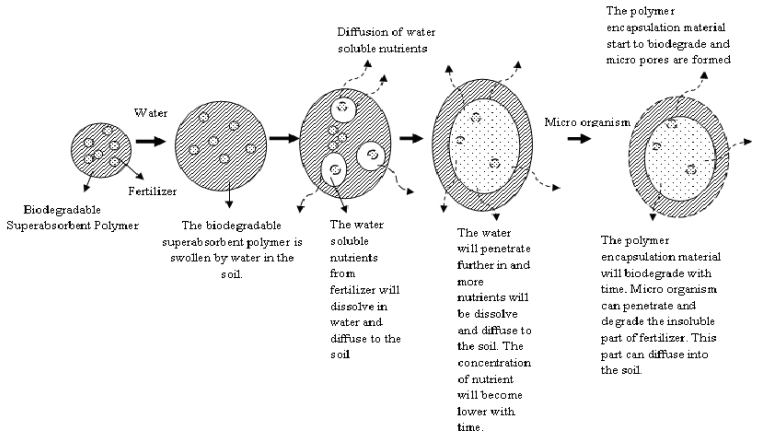
การควบคุมการปลดปล่อย (Control release)

เป็นการควบคุมการปลดปล่อยของสารแกนกลางออกจากสารที่เป็นเปลือกเช่น พอลิเมอร์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เช่น พีเอช เวลา อุณหภูมิ และความดัน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยคือ รูปร่างของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ ถ้าผิวของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีผิวที่แตกหรือมีรูพรุน สารแกนกลางที่อยู่ภายในก็จะแพร่ออกมาอย่างรวดเร็ว ทำให้ใช้เวลาน้อยในการปลดปล่อย การเสื่อมสลายของโพลิเมอร์ที่ใช้เป็นเปลือก ถ้าใช้เปลือกพอลิเมอร์เป็นพวกย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น พอลิแอลแลกคติกแอซิด เมื่อโนความชื้นก็จะเกิดการย่อยสลาย ทำสายโซ่พอลิแอลแลคติกแอซิดเกิดการแตกและปลดปล่อยสารแกนกลางออกมา และการแพร่ของสารแกนกลางที่ระเหยได้ออกจากพอลิเมอร์แคปซูล สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแพร่ผ่านหรือแทรกซึมผ่านรูพรุนของสายโซ่พอลิเมอร์ได้ เช่น น้ำมันหอมระเหย การควบคุมการปลดปล่อยมีหลายวิธี ดังนี้

การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้การแพร่ (Diffusion control release)

การแพร่เป็นกลไกที่พบในสารที่ให้กลิ่นรส น้ำมันหอมระเหยและยา พอลิเมอร์แคปซูลจะเกิดการปลดปล่อยก็ต่อเมื่อ ไอของสารวิ่งไปชนกับผนังของแคปซูล ยิ่งความเข้มข้นของสารแกนกลางมากการระเหยในพอลิเมอร์แคปซูลก็จะยิ่งมาก เพราะว่าความเข้มข้นเป็นแรงผลักดันให้เกิดการแพร่ ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ คือ ดีกรีของการพองตัว (Degree of swelling) ซึ่งเกิดจากการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ ถ้า

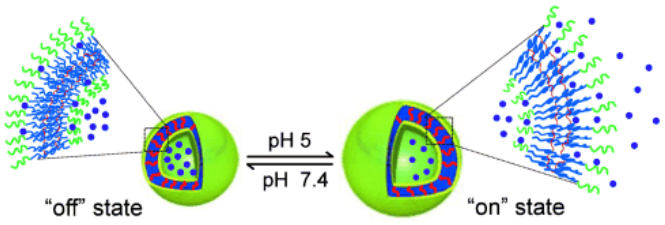
พอลิเมอร์มีการพองตัวมาก ก็จะทำให้พอลิเมอร์มีรูพรุนมาก จึงมีการปลดปล่อยสารออกมามาก (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้การแพร่
ที่มา Munusamy และคณะ, 2008

การควบคุมการปลดปล่อยโดยพีเอช (pH sensitive release)

การควบคุมการปลดปล่อยโดยพีเอช พอลิเมอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกพอลิเมอร์ที่สามารถพองตัวและยุบตัวได้เมื่อพีเอชเปลี่ยน ส่วนใหญ่จะใช้กับพอลิเมอร์ที่หุ้มผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น การใช้ไลโพโซมเป็นเปลือกหุ้มสารแกนกลาง เมื่อพีเอชเปลี่ยน จะทำให้ไลโพโซมเกิดการเสียเสถียรภาพ แล้วเกิดการปลดปล่อยสารแกนกลางออกมา การควบคุมการปลดปล่อยโดยพีเอช แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การควบคุมการปลดปล่อยโดยพีเอช
ที่มา Yassin, 2012

การควบคุมการปลดปล่อยโดยอาศัยหลักการพองตัว (Release of flavor by swelling)

สารที่ถูกหุ้มจะละลายอยู่ในพอลิเมอร์ จะไม่สามารถแพร่กระจายออกจากพอลิเมอร์ได้ เมื่อพอลิเมอร์สัมผัสกับตัวทำละลาย จะเกิดการพองตัว แล้วทำให้สารที่ถูกหุ้มปลดปล่อยออกมา โดยการพองตัวนี้ จะเกิดจากการที่ของเหลวถูกดูดซึมเข้าไปในพอลิเมอร์

การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสโดยวิธีการหลอมละลาย (Release of flavor by melting)

การควบคุมแบบนี้เป็นการทำให้พอลิเมอร์หลอมละลายโดยใช้อุณหภูมิ จากนั้นก็จะเกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกหุ้มออกมา นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะสารเคลือบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นไขมันและไข (lipid) สามารถเกิดการหลอมเหลวได้ง่าย

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ธเนศ พงศ์จรรยากุลและสงกรานต์ แสงแก้ว (2005) ศึกษาผลของฟิล์มอัลจิเนตต่อคุณลักษณะการปลดปล่อยตัวยาของยาเม็ดไดโคลฟิแนคโซเดียมที่เตรียมโดยใช้สารยึดเกาะที่ไม่ละลายน้ำ ยาเม็ดไดโคลฟิแนคโซเดียมมีส่วนผสมของ แคลเซียมกลูโคเนตเตรียมด้วยวิธีแกรนูลเปียกและเคลือบด้วยสารกระจายตัวโซเดียมอัลจิเนตโดยใช้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ผิวประจันที่ควบคุมด้วยการแพร่ เพื่อทำให้เกิดฟิล์มอัลจิเนตที่ไม่ละลายน้ำ และได้ศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณตัวยาในยาเม็ดและการปลดปล่อยตัวยา เช่น เวลาในการเคลือบ ความเข้มข้นของสาร กระจายตัวโซเดียมอัลจิเนตและการทำให้ฟิล์มแข็งแรง ปริมาณตัวยาในยาเม็ดเคลือบไม่มีความแตกต่างกับ ปริมาณยาในยาเม็ดแกน อัตราการปลดปล่อยและการปลดปล่อยในช่วงต้นจากยาเม็ดเคลือบจะน้อยกว่าการปลดปล่อยของยาเม็ดแกนอย่างมีนัยสำคัญ ดัชนีชี้วัดทั้งสองลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการเคลือบและความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต นอกจากนี้ การทำให้ฟิล์มแข็งแรงสามารถลดการปลดปล่อยตัวยาได้เช่นกัน จากผลการทดลองนี้ชีให้เห็นว่ายาเม็ดที่เตรียมด้วยสารยึดเกาะที่ไม่ละลายน้ำ สามารถเคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตโดยใช้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ผิวประจันที่ควบคุมด้วยการแพร่ ฟิล์มอัลจิเนตที่เกิดขึ้นสามารถชะลอการปลดปล่อยในช่วงต้นและอัตราการปลดปล่อยตัวยาจากยาเม็ดได้

ปัญจรัตน์ สุนทรสมิตและปัทมา หล่าวราพันธุ์ (2541) ทดลองเคลือบน้ำมันหอมระเหยด้วยอัลจิเนต น้ำมันหอมระเหยที่เลือกใช้คือ lemon oil ทำการเคลือบโดยอาศัยการเกิด ionic gelation ของ

soluble alginate เช่น sodium alginate solution เมื่อมีการแลกเปลี่ยน sodium ion กับ calcium ion ได้เป็น calcium alginate gel การทำให้เกิดเป็นไมโครแคปซูล ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีหยดผ่านเข็ม (Orifice method) และวิธีทำให้เกิดอีมัลชั่น แล้วเกิด internal gelation (Internal gelation method) จากการทดลองโดย Orifice method พบว่า ถ้าใช้ sodium alginate ชนิดที่มีความหนืดน้อยเกินไป จะไม่สามารถเตรียมเป็นไมโครแคปซูลที่มีรูปร่างกลมตามต้องการได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ sodium alginate (ชนิดที่มีความหนืดสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดไมโครแคปซูลที่กลมได้) โดยหยดผ่านเข็มขนาดเดียวกัน จะได้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดลดลง จนถึงที่ความเข้มข้นค่าหนึ่งไมโครแคปซูลเริ่มมีขนาดคงที่ และหากเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นจนถึงความเข้มข้นหนึ่ง จะไม่สามารถดันสารละลายผ่านเข็มได้อีก การใช้เข็มขนาดต่างกันที่ความเข้มข้นเท่ากัน พบว่าขนาดของเข็มมีผลต่อขนาดของไมโครแคปซูล โดยที่เข็มเบอร์ใหญ่จะให้ไมโครแคปซูลขนาดเล็ก เข็มเบอร์เล็กจะให้ไมโครแคปซูลขนาดใหญ่ และมีขนาดของเม็ดไม่แตกต่างกัน สำหรับ Internal gelation method นั้นพบว่า การปั่นเพื่อทำให้เกิด complex emulsion ที่ความเร็วสูงขึ้น จะทำให้ขนาดของไมโครแคปซูลเล็กลง เมื่อเปรียบเทียบขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมโดย Orifice method กับ Intenal gelation method พบว่าวิธีหลังจะให้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดเล็กกว่า แต่มีค่า size distribution มากกว่า และลักษณะของผิวขรุขระกว่าด้วย การทดลองนี้เป็นเพียงการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไมโครแคปซูลเท่านั้น

จุฑามาส ศตสุข และคณะ (2551) ศึกษาการห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย และควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรีย พอลิเมอร์ที่ทำการห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียทำหน้าที่เป็นผนังเมมเบรนเพื่อควบคุมการซึมผ่าน และปลดปล่อยสารที่สามารถละลายน้ำได้ วัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาพัฒนาการห่อหุ้มของปุ๋ยยูเรียด้วยยางธรรมชาติ และประเมินประสิทธิภาพของแคปซูลที่เตรียมได้ทั้งตัวกลางเป็นน้ำและตัวกลางที่เป็นดิน ทำการศึกษาการเตรียมแคปซูลปุ๋ยด้วย 2 วิธี วิธีที่ 1 เป็นวิธีการเตรียมแคปซูลปุ๋ยโดยการเคลือบโดยตรง การเอาปุ๋ยมาเคลือบสารเคลือบที่ย่อยสลายได้เคลือบปุ๋ยที่เป็นเม็ดใช้สารเคลือบที่ทำมาจากยางธรรมชาติ และ วิธีที่ 2 เป็นวิธีโฟมจากชานอ้อยและโฟมยางธรรมชาติ โดยทั้งสองเทคนิคนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมแคปซูล โดยศึกษาผลชนิดของสารเคลือบ ความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ จำนวนชั้นของสารเคลือบ และการเชื่อมโยงของโมเลกุลของยาง สารผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับโซเดียมอัลจิเนต ต่อสมบัติของแคปซูล และศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียจากแคปซูล วิธีการที่1เป็นการเตรียมแคปซูลปุ๋ยโดยการเคลือบโดยตรงด้วยน้ำยางธรรมชาติ มีอัตราการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียจากแคปซูลลดลงเมื่อจำนวนชั้นเคลือบและความเข้มข้นของน้ำยางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อแคปซูลที่เตรียมได้จากการเคลือบ 5 ชั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.78 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 0.1244 กรัม แคปซูลที่เตรียมได้สามารถควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียตัวกลางที่เป็นน้ำได้นาน 9 ชั่วโมง และ ตัวกลางเป็นดินได้นาน

120 ชั่วโมง สำหรับการเตรียมแคปซูลด้วยวิธี (2) แบ่งออกเป็นแคปซูลจากชานอ้อยและโฟมยางธรรมชาติ การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของแคปซูลจากชานอ้อยโดยเทคนิค SEM ผลการทดลองพบว่าก่อนทำการเคลือบผิวชานอ้อยมีขนาดรูพรุน 0.10 มิลลิเมตร ส่วนโฟมยางธรรมชาติมีขนาดของรูพรุน 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีการเคลือบแคปซูลด้วยน้ำยางธรรมชาติที่มีจำนวนชั้นเคลือบแตกต่างกัน และความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ การบวมตัวของแคปซูลโฟมขึ้นกับจำนวนชั้นเคลือบ และความเข้มข้นของยางธรรมชาติ การปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียจากแคปซูลลดลงอย่างมากเมื่อแคปซูลเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติ สำหรับอัตราการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียจากแคปซูลใช้เวลาในการปลดปล่อยในน้ำได้นาน 48 ชั่วโมง และในตัวกลางเป็นดินได้นาน 60 วัน ส่วนแคปซูลโฟมยางธรรมชาติมีระยะเวลาในการปลดปล่อยของปุ๋ยจากแคปซูลในน้ำนาน 12 ชั่วโมง และ มากกว่า 30 วัน สำหรับตัวกลางที่เป็นดิน

Tangboriboonrat and Sirichaiwat (1999) ศึกษาการห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเพื่อควบคุมการปลดปล่อยโดยวิธี precipitation technique โดยนำปุ๋ยยูเรียไปละลายในน้ำยางเข้มข้น จากนั้นนำของผสมที่ได้ไปตกตะกอนสารละลายกรดอะซีติก เข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ dropper ทำให้ได้ขนาดของแคปซูลมีขนาดเท่ากับ 3-4 มิลลิเมตร จากนั้นนำแคปซูลไปจุ่มในน้ำเพื่อล้างกรด จากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 ºC ในงานวิจัยนี้พยายามลดอัตราการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรีย โดยวิธีการเคลือบสารละลายโซเดียมอัลจิเนต พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยยูเรีย คือ ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและความเข้มข้นของปุ๋ยยูเรียที่อยู่ในแคปซูล

Markusch and Sarpeshkar (2002) ศึกษาการเตรียมแคปซูลปุ๋ย โดยใช้พอลียูรีเธนเป็นตัวห่อหุ้มปุ๋ย โดยใช้พอลีเมอร์ต่างชนิดกัน ได้ polyol A, B และ C พบว่า สามารถควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยได้ดีพอสมควร

Hepburn and Arizal (1988) ศึกษาการเคลือบปุ๋ยโดยใช้ซัลเฟอร์ พบว่า ไม่ประสบความสำเร็จในการเตรียมแคปซูล เนื่องจากพบรูพรุนเกิดขึ้นบนแคปซูลมาก ทำให้ไม่สามารถควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียได้ นอกจากนี้แผ่นฟิล์มที่เคลือบจะแตกหักได้ง่ายจากแคปซูล และตนทุนการผลิตสูง

Hudson (1995) ปรับปรุงการเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยซัลเฟอร์เพื่อให้เกิดรูพรุนโยการผสมไขมัน ไขปิโตรเลียมสังเคราะห์ หรือ ไขที่ได้จากธรรมชาติ พืช สินแร่ และการเติมพอลิเมอร์ นอกจากนั้น การเติมดินสินแร่ แคลเซียมซิลิเคต พบว่า สามารถควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยดี สภาวะที่เหมาะสมการห่อหุ้ม คือ ใช้ซัลเฟอร์ 13เปอร์เซ็นต์ และของผสมไขมันและสารตัวเติม 15 เปอร์เซ็นต์

Kuriakose and Pillai (1994) ศึกษาการห่อหุ้มสารอินทรีย์ในโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์ พบว่า การห่อหุ้มสารอินทรีย์ที่มีผลในโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ ซึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการสังเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่จำเพาะของพอลิเมอร์ dimethacrylate (BDDMA) และ ethylene glycol dimethacrylate

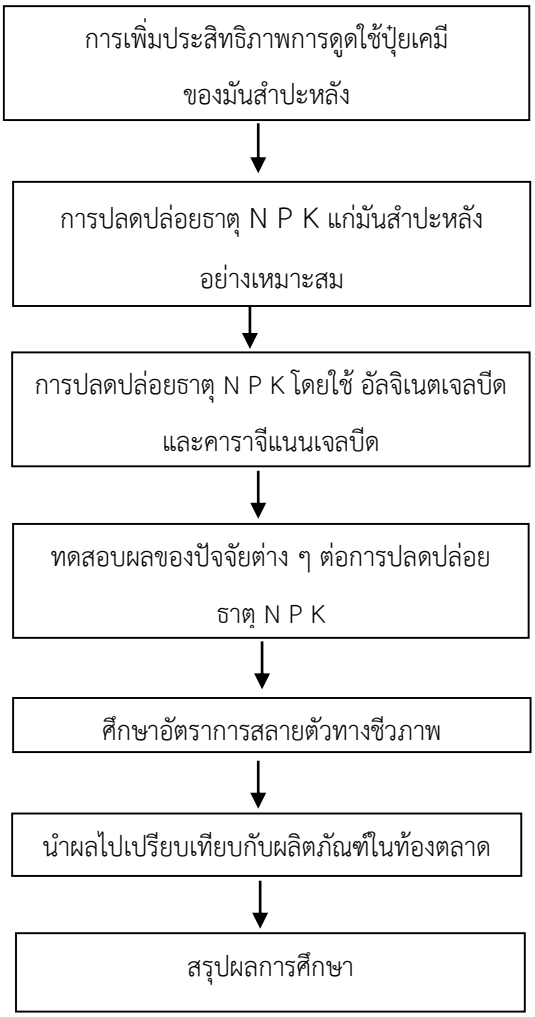
(EGDMA) ในสภาวะที่มีเบนซินละลายอยู่ เป็นผลให้การรวมตัวของ Benzil-encapsulated ของ styrene-BDDMA และ styrene-EGDMA ที่เป็นโครงร่างตาข่ายในระบบพอลิเมอร์ Benzil-encapsulated ของพอลิเมอร์ที่ถูกสังเคราะห์มีความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายปริมาณต่างกันขึ้นอยู่กับการปรับอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง

Abraham and Pillai (1996) ศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียด้วยการห่อหุ้มด้วยเมมเบรนของพอลิอะคริลาไมด์ 4 ชนิดคือ acrylamide กับ divinylbensene, N, N'-ethylenebisacrylamide หรือ pentaerythrytol triacrylate และใช้ไขมันกับสไตริน ที่ชื่อทางการค้าว่า thermocol เป็นสารเคลือบ พบว่า ยูเรียที่ห่อหุ้มด้วยโคพอลิเมอร์ระหว่าง acrylamide กับ tetraethylene glycol diacrylate ซึ่งเตรียมโดยวิธี free-radical solution polymerization และใช้ไขมันกับพอลิสไตริน เป็นสารเคลือบมีคุณสมบัติควบคุมการปลดปล่อยที่ดีสุด

Huett and Gogel (2000) ศึกษาระยะเวลาและรูปแบบการปลดปล่อยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทเซียมจากแคปซูลปุ๋ย โดยมีชื่อการค้า Nutrote Apec God Osmocote และ Macrcote ที่อุณหภูมิ 30.6 $\pm$ 0.8 ºC และ 40 $\pm$ 15 ºC โดยใช้สารดังกล่าวปริมาณ 5 กรัม ใส่ใน silica column ขนาด 280 x 50 มิลลิเมตร ที่ความลึก 50 มิลลิเมตร ซึ่งล้างด้วยกรดและ deonized wate จากการทดลองพบว่า Apec Gold มีการปลดปล่อยไนเตรทได้นานที่สุด 12.14 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 ºC และมีแนวโน้มการปลดปล่อย P>K>N อัตราปลดปล่อยระหว่าง P กับ N มีค่ามากกว่า 0.1 ในช่วงแรกของการปลดปล่อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 40 ºC ทำให้ระยะเวลาการปลดปล่อยน้อยลง การปลดปล่อยธาตุอาหารไม่มีความสม่ำเสมอ อัตราการปลดปล่อยสูงสุดในระยะแรกของการปลดปล่อยและต่อจากการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรีย

Jarosiewicz and Tomaszewska (2003) ศึกษาการห่อหุ้มปุ๋ย โดยใช้เมมเบรนเป็นตัวห่อหุ้ม โดยเลือกใช้พอลีซัลโฟน พอลีอคริโลไนไตรน์ และพวกเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการห่อหุ้ม ซึ่งอาศัยการห่อหุ้มด้วยวิธี phe inversion พบว่า ถ้าใช้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกสามารถควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยจากแคปซูลได้ดีที่สุด

Dumroese และคณะ (2005) ศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยจาก โดยใช้วัสดุจากธรรมชาติในการเตรียมแคปซูล โดยวัสดุดังกล่าวมีสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช



ภาพที่ 2.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย