บทที่2

ตรวจเอกสาร

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* var. *saccharata*) เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่ปัจจุบันได้มีการผลิตเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ซึ่งการใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีจะทำให้เพิ่มผลผลิตพืชได้ทั้งปริมาณและคุณภาพ เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการเพาะปลูกจึงต้องมีทั้งความงอกและความแข็งแรงสูง แต่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานนั้นมักประสบปัญหาในเรื่องความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่ต่ำอยู่เสมอ เนื่องจากข้าวโพดหวานเป็นข้าวโพดที่เกิดจากการกลายพันธุ์ (mutation) ของยีนที่ควบคุมการสร้างแป้งในเมล็ด ทำให้กระบวนการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตในเอนโดสเปิร์มเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ คือ มีการสังเคราะห์แป้งจากน้ำตาลกลูโคสในปริมาณที่ต่ำและนานขึ้น (กฤษฎา, 2530) ทำให้เมล็ดเหี่ยวย่นเมื่อแก่เต็มที่ (ราเชนทร์, 2539) เพราะมีปริมาณโพลีแซคคาร์ไรด์ในเมล็ดอยู่น้อย ส่งผลให้ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง จากเหตุผลดังกล่าว นักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานจึงให้ความสำคัญในเรื่องของความแข็งแรงมากขึ้น (Garwood และ Vanderslice, 1988)

การเพิ่มคุณภาพเมล็ดพันธุ์นั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน และวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมของเกษตรกรคือ การคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมีก่อนปลูก เพราะเป็นวิธีที่ง่ายต่อการปฏิบัติและยังคุ้มค่าทางเศรษฐกิจวิธีหนึ่งและสารเคมีที่ใช้คลุกเมล็ดพันธุ์บางชนิดยังช่วยป้องกันกำจัดศัตรูพืชทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกและความแข็งแรงสูงอีกด้วย แต่โดยทั่วไปเกษตรกรนิยมคลุกเมล็ดในลักษณะผงหรือเปียก ซึ่งการคลุกแบบผงทำให้เมล็ดพันธุ์ได้รับการคลุกไม่สม่ำเสมอและมีสารเคมีบางส่วนหลุดร่วงเป็นเหตุให้ต้องคลุกสารในปริมาณมากทำให้เหลือพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมและเกษตรกรมีความเสี่ยงที่จะได้รับสารพิษได้ง่าย ส่วนการคลุกแบบเปียกแม้ว่าจะสม่ำเสมอกว่าแต่ทำ

ให้เมล็ดเปียกชื้น เมล็ดเกิดการเสื่อมความงอกได้ ปัจจุบันมีการนำเอาวิธีเคลือบเมล็ด (seed coating) มาใช้เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ เนื่องจากการเคลือบเมล็ดนั้นทำให้เมล็ดได้รับสารเคลือบอย่างสม่ำเสมอ และสารเคลือบติดแน่นไม่หลุดร่วงระหว่างการนำไปใช้ ซึ่งช่วยลดปัญหาสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมและโอกาสที่จะได้รับสารพิษของเกษตรกรลดลงด้วย เมล็ดพันธุ์ที่เคลือบแล้วยังสามารถเก็บไว้ใช้ได้ข้ามปีและง่ายต่อการขนส่ง ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพและยืดอายุในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ เกษตรกรสามารถใช้เมล็ดปลูกได้ทันทีไม่ต้องเสียเวลาในการคลุกเมล็ดและสัมผัสกับสารเคมีขณะปลูกอีก (บุญมี, 2552) เทคนิคการเคลือบเมล็ดด้วยสารปลดปล่อยไนโตรเจนละลายช้าจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจนให้ออกมาสม่ำเสมออย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานพอกับความต้องการของเมล็ดพันธุ์และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยในขณะเกิดขบวนการงอกของพืช (Smid and Bates, 1971; Asano, 1996) โดยปุ๋ยไนโตรเจนที่มีการปลดปล่อยออกมาแบบช้าๆ จะช่วยให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารตามความต้องการในการเจริญเติบโต (Wertz *et al.*, 2005) เนื่องจากปุ๋ยละลายอยู่ในรัศมีของราก พืชจึงสามารถนำปุ๋ยไปใช้ได้ทันทีโดยไม่สูญหายไปกับกระบวนการต่าง ๆ (ภานี และคณะ, 2540)

การเคลือบเมล็ดพันธุ์ (Seed Coating)

การเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่ใช้กันมากในธุรกิจเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบัน(Copeland and MaDonald, 1995) เนื่องจากช่วยทำให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า โดยการเติมสารหรือวัสดุที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Manjunatha, 2007) โดยที่เมล็ดพันธุ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง ทำให้เมล็ดพันธุ์ได้รับสารเคลือบและสารออกฤทธิ์อย่างสม่ำเสมอ และยังสามารถควบคุมปริมาณสารเคลือบในแต่ละเมล็ดได้ ช่วยลดปัญหาสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมและโอกาสที่จะได้รับสารพิษของเกษตรกรลดลง ซึ่งการเคลือบเมล็ดพันธุ์ทำให้สารเกาะยึดติดแน่นกับผิวเมล็ดไม่เกิดการหลุดร่วงและมีความสม่ำเสมอ (Taylor and Harman, 1990) ซึ่งการเคลือบเมล็ดพันธุ์นี้เป็นเทคนิคที่มีการพัฒนาเครื่องมือและขั้นตอนมาจากอุตสาหกรรมยาโดยใช้สารออกฤทธิ์ต่างๆ และใช้สารก่อฟิล์มที่มีความเหนียวเป็นสารเคลือบเมล็ดพันธุ์ (Bruggink, 2005) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเคลือบเมล็ดแบบฟิล์ม (film coating) โดยเมล็ดถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ จำพวก thin polymer ซึ่งปกติจะมีการคลุกเมล็ดด้วยธาตุอาหารหรือสารป้องกันกำจัดแมลงและเชื้อโรคก่อนแล้วจึงทำการเคลือบฟิล์มเพื่อลดปัญหาโรคทางดินของพืช (บุญมี, 2546) หลังจากการเคลือบเมล็ดจะทำให้เมล็ดมีความชื้นคงเหลืออยู่น้อย เมล็ดไม่เกาะติดกันเป็นก้อน สารที่ใช้เคลือบเมล็ดจะอยู่บริเวณใกล้กับเมล็ดและพร้อมที่จะใช้ในการงอกของต้นกล้าซึ่งใช้สารเคมีในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการหว่านหรือโรยตามร่องโดนตรง (Bruggink, 2005)

องค์ประกอบของสารเคลือบเมล็ดพันธุ์

การเลือกใช้สารเคลือบเมล็ดพันธุ์และสารก่อฟิล์มขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ โดยส่วนมากสารออกฤทธิ์ (active ingredient) ที่ใช้ได้แก่ สารป้องกันกำจัดเชื้อรา สารป้องกันกำจัดแมลง ธาตุอาหารไนโตรเจน ฮอร์โมนและสารเร่งการเจริญเติบโต ซึ่งมักใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเหนียว เพื่อใช้เป็นสารยึดเกาะให้สารออกฤทธิ์ต่างๆ ติดกับเมล็ดพันธุ์ได้ดีขึ้น โดยลักษณะของสารเคลือบที่ดีจะมีลักษณะเป็นสารที่มีน้ำเป็นตัวกลาง ความหนืดต่ำ มีความเข้มข้นของของแข็งสูง สามารถปรับสมดุลของสารมีขั้วและไม่มีขั้วได้ และให้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงเมื่อแห้งแล้ว (Copeland and McDonald, 1995)

1. สารออกฤทธิ์ (active ingredient)

1.1 สารป้องกันกำจัดเชื้อรา (fungicide) นอกจากจะช่วยป้องกันกำจัดเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้แล้วยังทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกและความแข็งแรงสูงขึ้นอีกด้วย ดังเช่นการทดลองของ Petch *et al.*(1991) พบว่า การเคลือบฟิล์มพอลิเมอร์ 5% ร่วมกับสารป้องกันกำจักเชื้อรา metalaxyl 10 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเมล็ดพันธุ์ 1 กิโลกรัม บนเมล็ดพันธุ์แครอททำให้เมล็ดพันธุ์คงความมีชีวิตและผลผลิตได้ และยังช่วยควบคุมโรคในดินได้ดีเทียบเท่ากับการใช้ metalaxyl ในอัตรา 1,200 กรัมต่อเฮกตาร์ซึ่งเป็นอัตราแนะนำ

1.2 สารป้องกันกำจัดแมลง (insecticide) การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยสารป้องกันกำจัดแมลงนอกจากจะช่วยคุ้มครองต้นกล้าจากแมลงในดินระยะแรกของการงอกแล้วยังทำให้ต้นกล้ามีอัตราการรอดตัวสูงส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ ดังเช่นการทดลองของ Barratt *et al.* (1995) พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ถั่วโคลเวอร์ด้วยสาร acephate 19.5% EC และ thiodicarb 20% EC อัตรา 10 กรัมต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม ไม่ทำให้อัตราการงอกลดลงและให้อัตราการงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เคลือบสารและมีแนวโน้มให้ผลผลิตที่สูงกว่าด้วย

1.3 สารเร่งการเจริญเติบโต การเคลือบด้วยสารเร่งการเจริญเติบโตนั้น Qiu *et al.* (2552) ได้ทดลองเคลือบเมล็ดพันธุ์ repe seed ด้วย uniconazole โดยใช้สารประกอบพอลิเมอร์ polyvinyl alcohol 0.75 เปอร์เซ็นต์ และ boric acid 0.1 เปอร์เซ็นต์ร่วมด้วย พบว่า ช่วยทำให้ความแข็งแรงของราก ความยาวราก ปริมาตรและน้ำหนักแห้งของรากเพิ่มขึ้น เพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่เป็น antioxidant ทำให้การตั้งตัวและการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีขึ้น

1.4 ธาตุอาหาร (fertilizer) การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยปุ๋ยทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตในขณะเกิดขบวนการงอกของพืชได้ (Smid and Bates, 1971; Asano, 1996) จะช่วยให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารตามความต้องการในการเจริญเติบโต (Wertz *et al.*, 2005) เนื่องจากปุ๋ยละลายอยู่ในรัศมีของราก พืชจึงสามารถนำปุ๋ยไปใช้ได้ทันทีโดยไม่สูญหายไปกับกระบวนการต่าง ๆ (ภานี และคณะ, 2540)

1.5 สารชีวภาพ การนำสารชีวภาพมาใช้ เคลือบเมล็ดพันธุ์นั้น เพื่อควบคุมศัตรูพืชด้วยสิ่งมีชีวิตที่เป็นปฏิปักษ์ต่อศัตรูพืชนั้น ๆ ดังเช่นงานทดลองของสิทธิพงศ์ (2546) พบว่าการใช้ PEG 6000 เคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมล็ดร่วมกับเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma asperellum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเน่าคอดินคือ *Pythium* sp. และ *Sclerothium rolfsii* ได้ดีที่สุด เมื่อทดสอบบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ส่วนการควบคุมโรคโคนเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium ultimum* ในเมล็ดพันธุ์แตงเมื่อใช้วิธีการเคลือบด้วยเชื้อราปฏิปักษ์ 106 cfu 6 ต่อเมล็ดโดยใช้พอลิเมอร์ HiCoatTM, MicroBio ให้ผลดีที่สุด (Geogakopoulos *et al.*, 2002)

2. กาว (Binder or adhesive) โดยการใช้พอลิเมอร์ (polymer) เคลือบเมล็ดพันธุ์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สารออกฤทธิ์ชนิดต่าง ๆ ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้เป็นอย่างดีโดยสารนั้นไม่หลุดร่วงไป ซึ่งทำให้ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยลง โดยมากมีการใช้ crystalline polymer ปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ส่วนประกอบเป็นมอนอเมอร์จะประกอบด้วยส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่เชื่อมต่อของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลที่มีส่วนประกอบ 50 เปอร์เซ็นต์ พอลิเมอร์จะมีสายคาร์บอนพื้นฐาน C^{12} ถึง C^{15} ซึ่งความยาวของมอนอเมอร์จะมีผลทำให้พอลิเมอร์มีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน และยังใช้ในการปรับการผ่านเข้าออกของน้ำของพอลิเมอร์ซึ่งอาจทำให้น้ำผ่านเข้าไม่ได้จนถึงที่น้ำที่ผ่านเข้าสู่เมล็ดจนทำให้เกิดการงอก (Pamuk, 2004) ซึ่งต้องมีความสามารถที่จะก่อให้เกิดฟิล์มอย่างต่อเนื่องบนพื้นผิวของวัสดุที่จะเคลือบภายใต้สภาวะที่ใช้ (Marshall, 1979) การใช้สารก่อฟิล์มหลายประเภทด้วยกันตามคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป สามารถแบ่งชนิดของสารก่อฟิล์มตามความสามารถในการละลาย

3. สารเติมแต่ง (additives)

3.1 สารห่อหุ้มและเพิ่มความเนียน (opaquant extender) เป็นสารอนินทรีย์ที่มีผงละเอียดมาก ช่วยเพิ่มการห่อหุ้มของฟิล์มและทำให้ ได้สีของสาร เคลือบที่อ่อนลง opaquant extender สามารถปกปิดสี เดิมได้และมีราคาถูกกว่าสีจึงทำให้ลดปริมาณการใช้สีลงได้ สารที่ใช้ได้แก่ titanium dioxide, silicates (talc., aluminum silicate), carbonate (magnesium carbonate), sulfate (calcium sulfate), oxides (magnesium oxide) และ hydroxide (aluminium hydroxide) (ปราโมทย์, 2533; อรอนงค์, 2548)

3.2 สารลดแรงตึงผิว (surfactants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยการละลายของสารบางตัวที่ละลายยากหรือละลายได้น้อยในตัวทำละลาย หรือช่วยส่งเสริมการละลายของพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบเช่น Tween 20 เป็นต้น

3.3 antioxidants เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อทำให้สีมีความคงตัวมากขึ้นต่อออกซิเดชั่นและการเปลี่ยนแปลงของสี

4. สี (Colorants) เพื่อให้ทราบว่าเมล็ดได้มีการคลุกด้วยสารเคมีไม่สามารถนำไปใช้บริโภคได้ ใช้บ่งบอกว่าเป็นเมล็ดพันธุ์ที่จะนำไปเพาะปลูกไม่ควรนำไปบริโภคหรือนำไปเลี้ยงสัตว์ เพื่อป้องกันอันตรายจากนำไปใช้บริโภค และเพิ่มความสวยงามมีเอกลักษณ์เฉพาะ ทำให้ง่ายต่อการจดจำของเกษตรกร สีที่นำมาใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์มีหลายชนิดต้องคำนึงถึงความสวยงาม ความเป็นพิษต่อเมล็ดพันธุ์และการละลายในตัวทำละลาย ตัวอย่างของสีเคลือบเมล็ดพันธุ์เช่น water soluble dyes, Aluminium และ lakes อื่น ๆ (ปราโมทย์, 2533; อรอนงค์, 2548)

ประโยชน์และการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลือบเมล็ดพันธุ์

การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมีช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพดีขึ้น โดยช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกจากการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยธาตุอาหารพืช Wertz *et al.,* (2005) ได้ทำการทดลองเคลือบปุ๋ยที่มีการปลดปล่อยออกมาอย่างช้ากับเมล็ดพันธุ์ ด้วย Urea, Nitroform, Nutrelene และ Urea formaldehyde powder พบว่า การเคลือบด้วย UF ทำให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารตามความต้องการและเป็นประโยชน์ต่อระบบราก โดยพืชสามารถใช้ปุ๋ยนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการทดลองของ ผกาพรรณ (2552) ที่พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วย UF ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีเปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีการงอก และอัตราการเจริญเติบโตของยอดอ่อนและรากอ่อนสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ไม่ได้เคลือบสารอย่างมีนัยสำคัญ สิริมล และคณะ (2554) พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่เคลือบด้วย 3% KNO_3 + PEG 8000 จะให้ค่าดัชนีการงอกดีกว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่ไม่ได้เคลือบสาร และพบว่ามีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย โดยใช้พอลิเมอร์ทั้งจากธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้น เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพของการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย ได้แก่ การผลิตแคปซูลของยูเรียกับ

ยางธรรมชาติที่เตรียมขึ้นโดยใช้น้ำยางลาเทกซ์และการเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมอัลจิเนท (ประมวล, 2538) การศึกษาการห่อหุ้มยูเรียด้วยโพลิเอไมด์ (ไพโรจน์ และ สามารถ, 2543) การเคลือบปุ๋ยเคมีด้วยสารเคลือบที่มีโปรตีนจากกากถั่วเหลือง และการใช้ไคโตซานผสมกับแม่ปุ๋ย (ณัฐ, 2545; ลินดา และคณะ, 2548) นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น โพลิซัลโฟน โพลิ-ยูรีเทน โพลิไวนิล คลอไรด์ โพลิอะคริโลไน-ไตรท์ (Tomaszewka *et al.*, 2002) และวัสดุอื่นอีกหลากหลายชนิดในการเคลือบและการทำแคปซูลของปุ๋ย เพื่อชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหาร จากการศึกษาของ ผุสดี และสุวิมล (2551) พบว่าปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยยูเรียจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณยูเรียในส่วนผสมที่มากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยยูเรียในแต่ละส่วนผสมจะเพิ่มมากขึ้นจากเดิมเมื่อปริมาณแป้งในแต่ละส่วนผสมที่มากขึ้น และได้สรุปว่าปริมาณไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณยูเรียและปริมาณแป้งเริ่มต้น เนื่องจากปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนมากขึ้น (Tomaszewska, 2002) และเป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิล จึงทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่า (นรศิษฎ์, 2547) ดังนั้นความสามารถในการปลดปล่อยไนโตรเจนจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนหรือช่องว่าง (Ozturk *et al.*, 1990) จะเห็นได้ว่าการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยธาตุอาหารนอกจากจะใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่น้อยลงแล้วยังทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มสูงขึ้นได้ (บุญมี, 2552)

เมล็ดพันธุ์ที่เคลือบสามารถมองเห็นได้เมื่ออยู่ในแปลงปลูกทำให้สามารถจัดการการปลูกได้ง่าย ทำให้สะดวกในการนำไปเพาะปลูก เนื่องจากเมล็ดที่เคลือบสารแล้วจะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่เห็นได้ชัด เช่น สีเป็นต้น ส่งผลให้เมื่อนำไปเพาะปลูกสามารถกำหนดระยะปลูกมีความสม่ำเสมอมากขึ้นและยังสามารถควบคุมความลึกในการปลูกได้อีกด้วย (Kauufman, 1991) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชที่การให้ผลผลิตขึ้นอยู่กับระยะปลูกและความลึกในการปลูก เช่น หัวหอมและแครอทซึ่งระยะปลูกจะเป็นตัวกำหนดขนาดของหัว หากปลูกถี่เกินไปก็จะทำให้หัวมีขนาดเล็กและได้ผลผลิตต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงต้องปลูกด้วยระยะห่างที่เหมาะสมซึ่งการเคลือบเมล็ดจะช่วยให้การปลูกมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยทั่วไปการเคลือบเมล็ด (coating) จะทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียง 0.1-2 เท่า ส่วนการเคลือบด้วยฟิล์มบางๆ (film coating) มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 0.1 เท่า (Black *et al.*, 2004) ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยโดยเพิ่มความสม่ำเสมอในการรับสารเคมีที่ติดไปกับเมล็ด ในการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมีจะทำให้เกิดการสะสมของสารในลักษณะบางเบา

และมีความหนาอย่างสม่ำเสมอจนเป็นเยื่อบางเกาะติดแน่น ไม่หลุดร่วงและคลุมรอบเมล็ดพันธุ์ โดยเมล็ดพันธุ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจากเมล็ดได้รับสารเคลือบอย่างสม่ำเสมอเกาะติดแน่นไม่หลุดร่วงระหว่างการนำไปใช้ และยังสามารถควบคุมปริมาณสารเคลือบในแต่ละเมล็ดได้ เป็นการลดปัญหาสารพิษตกค้างต่อสภาพแวดล้อม (ภาณี และคณะ, 2540) ซึ่งการเคลือบเมล็ดมีการพัฒนาเครื่องมือและขั้นตอนมาจากอุตสาหกรรมยาโดยใช้พอลิเมอร์ที่มีความเหนียวและมีส่วนผสมของสารออกฤทธิ์ชนิดต่างๆ (Bruggink, 2005) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเคลือบเมล็ดแบบฟิล์ม (film coating) โดยเมล็ดถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มบาง ๆ จำพวก thin polymer ซึ่งตามปกติจะมีการคลุกเมล็ดหรือ seed dressing ด้วยธาตุอาหารหรือสารป้องกันกำจัดแมลงและเชื้อโรคก่อนแล้วจึงทำการเคลือบฟิล์มเพื่อลดปัญหาโรคทางดินของพืช (บุญมี, 2546) เช่นเดียวกับการศึกษาการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืชอาหารสัตว์ *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash ด้วย Dicalcium Phosphate (DCP) ที่พบว่า การใช้ DCP ในอัตรา 10 กิโลกรัมฟอสฟอรัส/เฮกตาร์ ทำให้ความสูงของต้นมากกว่าการให้ปุ๋ยโดยวิธีการหยอดหรือหว่านในอัตรา 40 กิโลกรัมฟอสฟอรัส/เฮกตาร์ (Scott and Blair, 2005) ลดการฟุ้งกระจายของสารเคมีซึ่งทำให้ลดโอกาสเสี่ยงในการได้รับสารพิษของเกษตรกรผู้ปฏิบัติงานและมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมีก่อนปลูกเป็นวิธีที่เกษตรกรนิยม เพราะเป็นวิธีที่ง่ายต่อการปฏิบัติ แต่การคลุกเมล็ดพันธุ์นั้นทำให้เมล็ดพันธุ์ได้รับสารคลุกที่ไม่สม่ำเสมอและมีสารเคมีบางส่วนหลุดร่วงเป็นต้นเหตุให้ต้องคลุกสารเคมีในปริมาณมากและมีปริมาณไม่แน่นอนทำให้เหลือพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการนำการเคลือบเมล็ดพันธุ์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในการให้สารเคมีแก่เมล็ดพันธุ์ ซึ่งการเคลือบเมล็ดพันธุ์ทำให้สารเกาะยึดแน่นกับผิวเมล็ดไม่เกิดการหลุดร่วงและมีความสม่ำเสมอ โดยเมล็ดไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างไป (Trylor and Harman, 1990) ช่วยลดปัญหาสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมและโอกาสที่จะได้รับสารพิษของเกษตรกรลดลงด้วย ลดขั้นตอนการเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก เนื่องจากไม่ต้องทำการคลุกเมล็ดพันธุ์กับสารเคมีก่อนปลูกอีก การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมีนั้นเกษตรกรสามารถนำเมล็ดพันธุ์ไปใช้เพาะปลูกได้ทันที โดยไม่ต้องเสียเวลาในการคลุกเมล็ดและสัมผัสกับสารเคมีโดยตรงขณะปลูก (ภาณี และคณะ, 2540) แต่หากเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปอาจเกิดความเป็นพิษกับเมล็ดพันธุ์ขึ้นได้ดังเช่นการทดลองของ Bay *et al.* (2007) ซึ่งได้เคลือบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ BRS153 ด้วยธาตุอาหารอัตรา 1, 2 และ 4 มิลลิลิตรต่อ 1 กิโลกรัม

เมล็ด โดยใช้พอลิเมอร์ Laborsan Red Solid Pam Bril® และใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อราร่วมด้วย ซึ่งการเคลือบเมล็ดพันธุ์ทำให้ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดที่ดีขึ้นและการเคลือบด้วยธาตุอาหารอัตรา 2 มิลลิลิตรต่อ 1 กิโลกรัมเมล็ดไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ แต่เมื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยธาตุอาหารอัตรา 4 มิลลิลิตรต่อ 1 กิโลกรัม พบว่าเกิดการเป็นพิษกับเมล็ดพันธุ์

บทบาทของไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในบรรดาธาตุอาหารที่จัดว่ามีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุที่มีความสำคัญที่สุดเพราะเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก และเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเจริญเติบโต การสร้างผลผลิต การสังเคราะห์แสงและสะสมโปรตีนในพืช ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิค หรือนิวคลีโอไทด์ คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์หรือน้ำย่อยต่างๆ (Thompson and Troch, 1975) มีความสำคัญมากต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนอ่อนพืช เช่น ยอดอ่อน ใบอ่อน รากอ่อน ซึ่งเป็นส่วนที่กำลังเจริญเติบโตทั้งหลาย โดยการเจริญเติบโตของเซลล์พืชหรือการเพิ่มเซลล์ ในเซลล์จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการแบ่งเซลล์ หรือเพิ่มการเจริญเติบโตของเซลล์ (เฉลิมพล, 2542; ยงยุทธ, 2543) เฉลี่ยโดยทั่วไปแล้วในพืชจะมีไนโตรเจนประมาณ 1.5-5.0% ของน้ำหนักแห้ง (Haynes, 1986) ถึงแม้ในอากาศจะมีไนโตรเจนในรูปของก๊าซ N_2 อยู่ถึงประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ แต่ N_2 ในรูปนี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ NO_3^- และ NH_4^+ เท่านั้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (เฉลิมพล, 2542) และไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ NO_3^- มีความสำคัญมากกว่าไนโตรเจนที่อยู่ในรูป NH_4^+ แต่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที (จักรี, 2539) NO_3^- ในพืชจะถูกเปลี่ยนเป็น NH_4^+ โดยกระบวนการ nitrification (Banerjee *et al.*, 1989) เนื่องจากเกิดการสูญหายของปุ๋ยที่ใส่โดยขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดิน เช่น จากการชะล้างบริเวณหน้าดิน การถูกจุลินทรีย์ดินนำไปใช้ และการระเหยสู่บรรยากาศในรูปแก๊สต่างๆ ทั้งในรูปของ NH_3-volatillization และ Denitrification (Craswell and Vlek, 1979; Cao *et al.*, 1984) ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยมีเพียง 20-70% ของปริมาณปุ๋ยที่ใช้เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wada *et al.* (1971) ที่พบว่าอัตราการดูดใช้ปุ๋ยที่ระยะเวลาการเจริญเติบโตต่างๆ ของพืชจะแตกต่างกันออกไปตั้งแต่ 27-50% ของปุ๋ยที่ใช้ การทดลองของ Killorn, (2004) พบว่า การใส่ปุ๋ยดินปั้นจะเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ย

ไนโตรเจนในอัตราต่ำ และโดยทั่วไปแล้วการใส่ปุ๋ยละลายช้า (Slow release) ให้กับข้าวโพดจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแบบธรรมดา

เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการในปริมาณมาก ดินที่ใช้เพื่อการเพาะปลูกโดยทั่วไปมักมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ ต่อความต้องการของพืช (มุกดา, 2544) นอกจากนี้พืชสามารถใช้ประโยชน์โดยตรงได้เฉพาะกรณีที่ไนโตรเจนอยู่ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) หรือไนเตรต (NO_3^-) เท่านั้น จึงมักพบการขาดธาตุไนโตรเจนในดินที่ปลูกพืชโดยทั่วไป (ยงยุทธ, 2543) ถึงแม้ในบรรยากาศของโลกจะมีก๊าซไนโตรเจนมากถึงประมาณ 78% แต่ N_2 ในรูปนี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ไนโตรเจนมีกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไนโตรเจนไปเป็นโมเลกุลอื่นที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ให้สามารถนำโมเลกุลเหล่านั้นนำไปใช้ได้ เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน แสดงดังสมการ

$N_2 + 8H^+ + 6e^- \longrightarrow 2NH_4^+$

$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- \longrightarrow N_2 + 6H_2O$

$NO_3^- + 10H^+ + 8e^- \longrightarrow NH_4^+ + 3H_2O$

$NH_4^+ + 2H_2O \longrightarrow NO_2^- + 8H^+ + 6e^-$

$NO_2^- + H_2O \longrightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-$

$NH_4^+ + 3H_2O \longrightarrow NO_3^- + 10H^+ + 8e^-$

$N_2 + 8H^+ + 6e^- \longrightarrow 2NH_3 + H_2$

สารประกอบไนโตรเจนที่พบในเนื้อเยื่อของพืชมีทั้งที่เพิ่งดูดเข้าไปและยังไม่เปลี่ยนแปลงกับอินทรียสารซึ่งมีการสังเคราะห์ขึ้นใหม่จากไนเตรท แอมโมเนียและยูเรียที่พืชดูดได้ อินทรีย์สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอาจแบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม คือ (Atlas, 1998)

1. โปรตีน (proteins) ประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acids) ชนิดต่าง ๆ ต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผน ตั้งแต่ 50 ถึง 100 หน่วย โดยกรดอะมิโนเหล่านั้นเชื่อมกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) โปรตีนมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของ

(ก) ไซโทพลาซึม

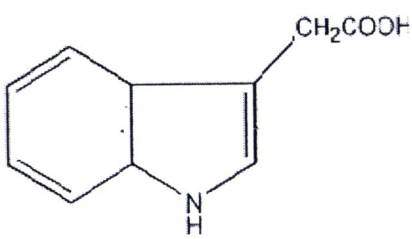
(ข) เยื่อเป็นทั้งโครงสร้างและพาหะในการเคลื่อนย้ายสารผ่านเยื่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

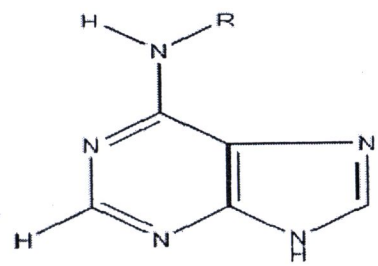
(ค) เอนไซม์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมีจึงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมอย่างกว้างขวาง

2. กรดอะมิโน มีไนโตรเจนอยู่ที่หมู่อะมิโน (amino group) กรดอะมิโนเป็นหน่วยในโครงสร้าง (building blocks) ของโปรตีน โดยต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผน นอกเหนือจากกรดอะมิโนที่เป็นโครงสร้างของโปรตีนแล้ว ยังมีอีกมากที่อยู่อย่างอิสระในเซลล์ สัดส่วนของกรดอะมิโนแต่ละอย่าง กรดอะมิโนอิสระกับกรดอะมิโนในโครงสร้างของสารต่าง ๆ เป็นลักษณะเฉพาะของพืชแต่ละชนิด

3. ฮอร์โมนพืช ฮอร์โมนที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเองและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ คือ ออกซิน (auxins) กับไซโทไคนิน (cytokinins) กรดอินโดลแอซิติก (indole-3-acetic acid, IAA) เป็นออกซินที่พืชสังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโนชื่อทริปโตเฟน (tryptophane) บทบาทที่สำคัญของ IAA ต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการขยายขนาดเซลล์ ควบคุมการแตกราก ยับยั้งการเจริญของตาข้าง ป้องกันการร่วงของใบ กิ่งและผล ไซโทไคนินเป็นฮอร์โมนพืชที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดเซลล์ ส่งเสริมการสร้างและการเจริญของตา ช่วยในการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการสร้างโปรตีน ชลอความเสื่อมตามอายุ (senescence) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมี คือ 6-(4-hydroxy-3-methyl-trans-2-butenylamido) Purine สำหรับไซโทไคนินที่พบในพืชต่างๆล้วนเป็นอนุพันธ์ของ isopentenyl adenine



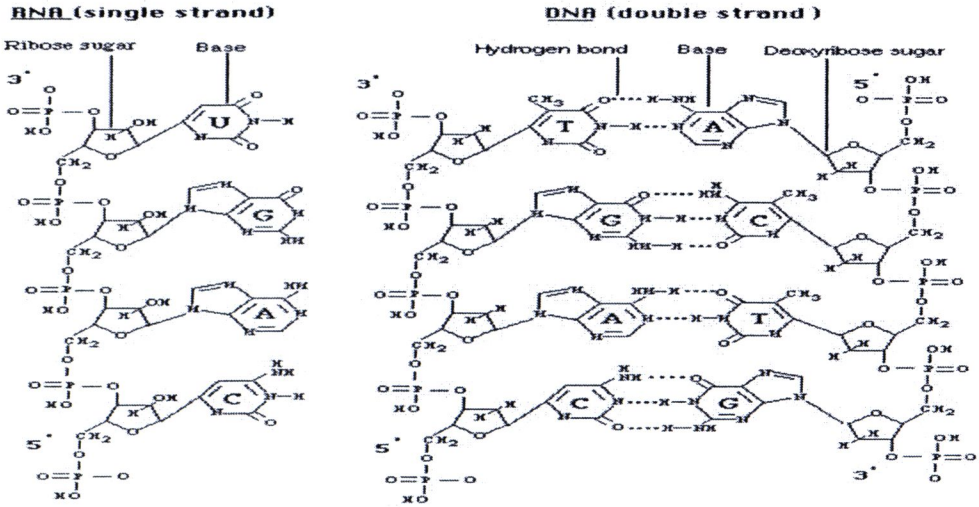
ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของ auxins (Taiz and Zeiger, 1998)



ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ cytokinins (Mok *et al.*, 2001)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 1 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 250408
เลขเรียกหนังสือ

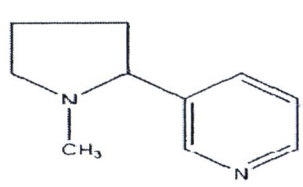
4. กรดนิวคลิอิก (nucleic acids) มีอยู่ 2 ชนิด คือ ribo nucleic acid (RNA) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และ deoxyribo nucleic acids (DNA) ทำหน้าที่เป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม



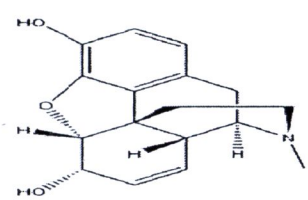
ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของ DNA และ RNA (Watson and Crick, 1953)

5. สารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) โคเอนไซม์ (Co-enzymes) เช่น NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) และ NADP (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)

6. สารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) หรือทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น แอลคาลอยด์ (alkaloids) ตัวอย่างของแอลคาลอยด์ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง คือ นิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น



สูตรโครงสร้างของ nicotine



สูตรโครงสร้างของ morphine

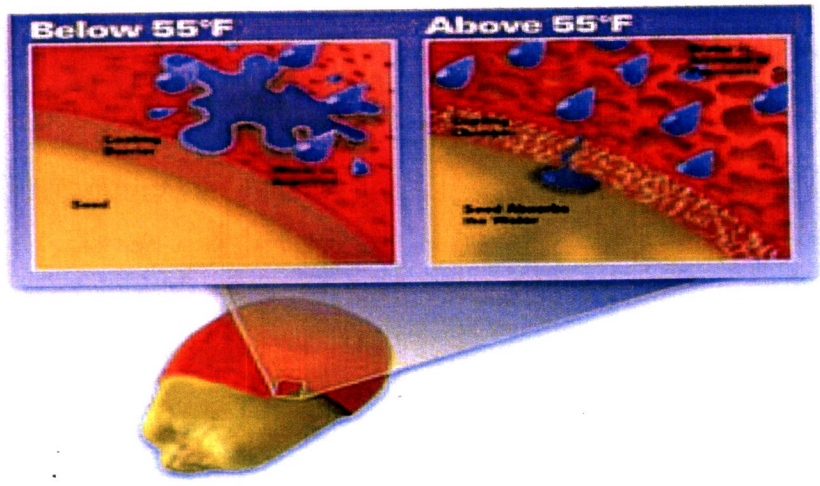
ภาพที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของนิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) (Nolley et *al.*, 2007)

ปริมาณและความต้องการไนโตรเจนของข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่ต้องการไนโตรเจนสูง เพื่อช่วยในการเจริญของต้น ใบ และฝัก ประสิทธิภาพของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับการให้น้ำ การให้น้ำหลังจากใส่ปุ๋ยพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็ว แต่การใส่ปุ๋ยในรูปยูเรียหรือแอมโมเนี่ยมฟอสเฟตเมื่อใส่ก่อนปลูกและใส่ใกล้เมล็ดอาจเป็นอันตรายต่อเมล็ดพันธุ์ได้ (นิพนธ์, 2554) โดยปริมาณความต้องการไนโตรเจนของพืชจะแตกต่างกันไปตามชนิดพืช Sinclair and Wit (1975) พบว่า ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว มีความต้องการไนโตรเจนประมาณ 16, 15 และ 10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อน้ำหนักแห้งพืช 1 กรัม ตามลำดับ ซึ่งในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ US high protein (H5) ตามรายงานของ Bressani and Mertz, 1958 พบว่า มี Total N (%) อยู่ 2.24 เปอร์เซ็นต์ โดยการกระจายตัวของไนโตรเจนในเมล็ดแบ่งเป็น Seed coat 2.2% Endosperm 83.2% Germ 14.6% ปริมาณไนโตรเจน (N) ในต้นจะลดลงตามอายุของพืช โดยทั่วไปข้าวโพดหวานต้องการปุ๋ยไนโตรเจน ประมาณ 27 กิโลกรัมต่อไร่ใส่ก่อนปลูก 9.0-11.0 (N) กิโลกรัมต่อไร่ ที่เหลือใส่หลังปลูกสองครั้ง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงกว่า 27 (N) กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้พืชแสดงอาการใบไหม้โดยเฉพาะในต้นอ่อน โดยปกติไนโตรเจนในดินที่พืชได้รับจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของส่วนยอดมากกว่าส่วนราก แต่ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณมากกว่าปกติ จะทำให้การเจริญเติบโตของรากลดลง (Tisdale *et al.*, 1993) เนื่องจากสาเหตุคือ เมื่อได้รับไนโตรเจนมากขึ้นจะมีการใช้คาร์โบไฮเดรต เพื่อสร้างโปรตีนของส่วนยอดมากขึ้น จึงมีผลทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่อาจเคลื่อนย้ายลงสู่รากได้ลดลง ดังนั้น การเจริญของรากจึงมีน้อยกว่าการเจริญของส่วนยอด (Thornton and Gangulee, 1952) และไนโตรเจนที่มากขึ้นจะไปเพิ่มปริมาณออกซิน ซึ่งโดยทั่วไปจุดพิกัดความเข้มข้นของออกซินของรากจะต่ำกว่าส่วนยอด ดังนั้น เมื่อออกซินมีความเข้มข้นสูงขึ้นออกซินจะเคลื่อนที่ลงไปยังราก ทำให้ความเข้มข้นของออกซินในรากเกินจุดพิกัดจำกัด เป็นผลให้การเจริญในส่วนปลายรากและการแตกแขนงของรากลดลง รากจึงมีการเจริญช้ากว่าส่วนยอด ดังนั้น การให้ปุ๋ยไนโตรเจนกับพืชต้องมีความระมัดระวังอย่างมากเกี่ยวกับปริมาณปุ๋ย และช่วงระยะเวลาการให้ปุ๋ยไนโตรเจน (Vlek *et al.*, 1980) ตามรายงานของ Onasanya *et al.* (2009) พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็นอัตราสูงที่สุดในการทดลองมีผลทำให้การเจริญเติบโตในระยะแรกเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความสูงของต้น จำนวนของใบและองค์ประกอบผลผลิตอื่นๆ สูงที่สุดในการทดลอง

ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจน

ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย คือ ปุ๋ยเคมีที่บรรจุอยู่ในสารเคลือบโพลิเมอร์ชนิดพิเศษ สารเคลือบชนิดนี้ออกแบบมาให้ปุ๋ยที่บรรจุอยู่ภายในค่อยๆ ละลายปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานาน (AAPFCO, 1995) พอเหมาะกับความต้องการของพืช ทำให้พืชได้อาหารอย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงอายุของพืช (Shoji and Gandeza, 1992) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยจึงใส่เพียงครั้งเดียวก็สามารถอยู่ได้นาน จึงแตกต่างจากปุ๋ยธรรมดาทั่วไปที่ละลายน้ำอย่างรวดเร็วและสลายธาตุอาหารออกมาอย่างสูง ใน 2–3 วันแรก (Finck, 1992) ปัจจุบันมีการค้นหาวิธีการชะลอการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยโดยการเคลือบด้วยสารเคลือบที่ไม่ละลายน้ำหรือน้ำซึมผ่านได้น้อยด้วยวิธีการต่างๆ และวิธีการที่ได้รับความนิยมก็คือการ เคลือบเมล็ดพันธุ์ (Seed coating) โดยทำเป็นปุ๋ยละลายช้าเพื่อให้ปุ๋ยค่อยๆ ละลายปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน ออกมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานานพอกับความต้องการของพืช (Wertz *et al.*, 2005) ซึ่งก็พบว่ามีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน (Amberger, 1996)

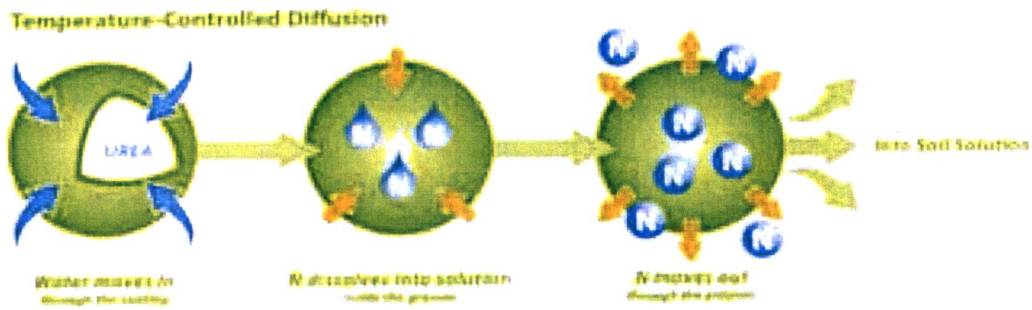


ภาพที่ 2.5 ลักษณะของสารเคลือบเมล็ดพันธุ์ที่ควบคุมการซึมผ่านของน้ำ

ที่มา: (Landec and Monsanto, 2006)

กลไกการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยละลายช้า

การทำงานของปุ๋ยละลายช้าจะเริ่มขึ้นทันทีที่สัมผัสกับความชื้นในดินหรือเครื่องปลูกที่เปียกชื้น (Sturm *et al.*, 1994) ปุ๋ยจะเริ่มดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของสารเคลือบซึ่งเป็นรูเล็กมากเข้าไปละลายธาตุอาหารภายใน ธาตุอาหารภายในซึ่งมีความเข้มข้นสูงจะค่อยๆ ซึมผ่านเปลือกของโพลิเมอร์ที่เคลือบไว้ออกมาทีละน้อย คล้ายขบวนการออสโมซิส (OSMOSIS) ธาตุอาหารนี้จะค่อยๆ แพร่กระจายไปยังบริเวณรากพืชในปริมาณที่สม่ำเสมอทุกวัน (Shaviv, 1993) ส่วนของเปลือกโพลิเมอร์นั้นจะค่อยๆ สลายตัวไปเองตามธรรมชาติ ดังนั้นปุ๋ยละลายช้าจึงต่างจากปุ๋ยทั่วไปที่ปุ๋ยทั่วไปจะละลายน้ำทันทีที่สัมผัสน้ำ ธาตุอาหารจะหมดไปในระยะเวลาอันสั้น ส่วนปุ๋ยละลายช้าจะเก็บธาตุอาหารไว้ภายในเม็ดได้นานเป็นเดือนๆ (Maene, 1995; Trenkel *et al.*, 1988)



ภาพที่ 2.6 แสดงการทำงานของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจน (Derrick, 2011)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยธาตุอาหาร

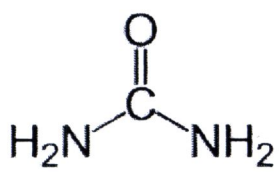
อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยละลายช้าจะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิของดินแต่เพียงอย่างเดียว (Kloth, 1996) ถ้าอุณหภูมิในดินสูง อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะเร็วขึ้นพอเหมาะกับอัตราการเจริญเติบโตของพืชที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิต่ำลง พืชเจริญเติบโตช้า ปุ๋ยละลายช้าก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารน้อยลงพอเหมาะต่อความต้องการของพืชเช่นกัน อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยละลายช้าไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ซึ่งปกติแล้วอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยธรรมดาทั่วไปจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ คือ ความเป็นกรดด่างของดิน (pH), ระดับความชื้นในดิน, ชนิดของดิน, จุลินทรีย์ในดิน, ความเข้มข้นของธาตุอาหารใน

ดิน ยกตัวอย่างเช่น อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยละลายช้าในดินที่มีอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส จะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เป็นระยะเวลาประมาณ 4 เดือน ถ้าอุณหภูมิในดินประมาณ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้การปลดปล่อยเร็วขึ้น ระยะเวลาการปลดปล่อยธาตุอาหารจะสั้นลง ทำให้ปุ๋ยละลายช้าปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เป็นระยะเวลาประมาณ 2-2.5 เดือน (Finck, 1992)

องค์ประกอบของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจน

1. ปุ๋ยยูเรีย

ปุ๋ยยูเรีย (Urea) มีสูตรทางเคมี $CO(NH_2)_2$ เป็นผลึกสีขาว มีความถ่วงจำเพาะ 1.335 g/cm^{-3} ดูดความชื้นได้ง่าย มีธาตุไนโตรเจนร้อยละ 45 – 46.6% มีมวลโมเลกุล 60.06 เมื่อเก็บทิ้งไว้จะมีกลิ่นแอมโมเนีย รสเค็ม มีจุดหลอมเหลวที่ 132.7 °C ยูเรียละลายน้ำได้มาก คือ ที่ 0 °C ละลายได้ 66.7 กรัมในน้ำ 100 กรัม, ที่ 25 °C ละลายได้ 119.0 กรัมในน้ำ 100 กรัม และ ที่ 100 °C ละลายได้ 733.3 กรัมในน้ำ 100 กรัม สารละลายมีฤทธิ์เป็นกลางสามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ และในแอมโมเนีย แต่ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน ในทางเคมีมีสมบัติเป็นสารประกอบแบบ Monobasic ซึ่งเมื่อรวมกับกรดต่อไปนี้จะทำเกิดเกลือชนิดต่างๆ กรดเหล่านี้ได้แก่ กรดเกลือ กรดกำมะถันกรดน้ำส้ม และอื่นๆ



ภาพที่ 2.7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของปุ๋ยยูเรีย (Jozef *et al.*, 2002)

เนื่องจากปุ๋ยยูเรียไม่มีประจุ ในการผลิตปุ๋ยยูเรียมักมีสารบางอย่าง คือ ไบยูเรต (Biuret) และแอมโมเนียรวมอยู่ด้วย ซึ่งสารไบยูเรตนี้เกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิตปุ๋ยมากเกินไป ทำให้ยูเรียบางส่วน กลายเป็นไบยูเรต ถ้าในปุ๋ยยูเรียมีไบยูเรตปะปนอยู่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นอันตรายต่อพืช (มุกดา, 2544) ไบยูเรตเป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาของ carbamide 2 โมเลกุล มีปฏิกิริยาดังสมการ

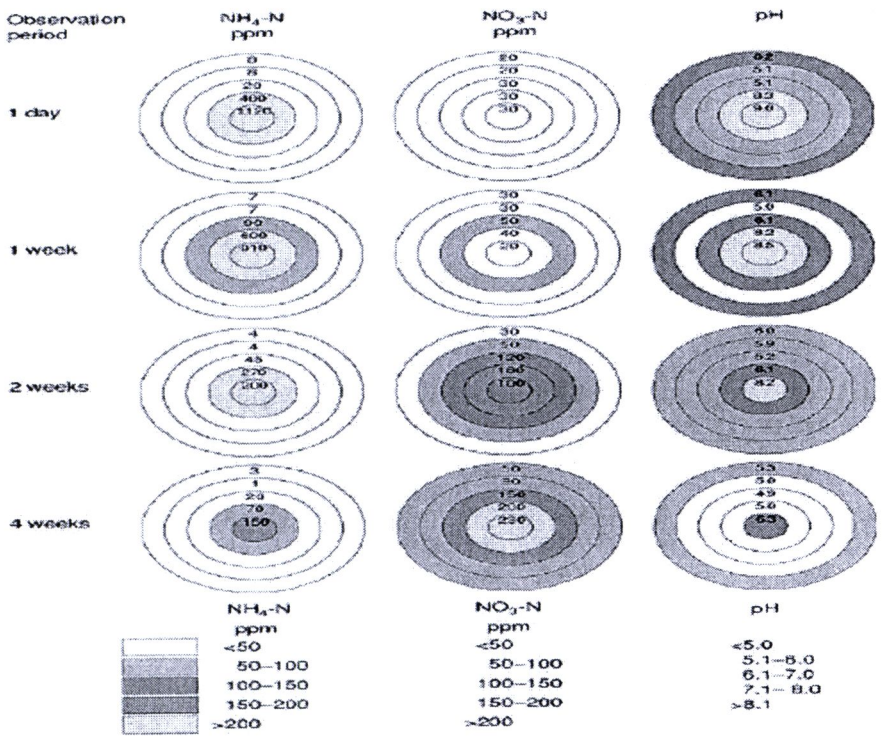
$$2NH_2CONH_2 = NH_2CONHCONH_2 + NH_3$$

การเปลี่ยนรูปจากไบยูเรตไปเป็นแอมโมเนียจะช้ากว่ายูเรียมาก และจะยังคงค้างอยู่ในดินนานเป็นอาทิตย์ ทำให้เมล็ดพืชมีระดับความเป็นอันตรายอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะกลายไปเป็นแอมโมเนียหมด และอันตรายที่สำคัญก็คือเกี่ยวกับการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Overdahl *et al.*, 1991) ปุ๋ยยูเรียเมื่อละลายน้ำจะได้แอมโมเนียมคาร์บอเนต ดังสมการ

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{urease}} (NH_4)_2CO_3$$

แอมโมเนียมคาร์โบเนตถูกจุลินทรีย์ย่อยเป็นไอออนของแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3) ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่รูปของแอมโมเนียมคาร์โบเนตไม่คงรูปอยู่ตลอดไป เพราะถ้า pH >7.0 จะปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ออกสู่บรรยากาศ ก๊าซแอมโมเนียนี้เป็นพิษกับต้นอ่อนของพืช อิทธิพลของยูเรียเมื่อใส่ลงในดินครั้งระยะแรกจะมีผลทำให้ดินเป็นด่าง ต่อมาเมื่อแอมโมเนียมไอออนถูกออกซิไดซ์ก็จะก่อให้เกิดผลตกค้างเป็นกรด

ยูเรียเมื่อถูกใส่ลงไปในดิน จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูป NO_3^- แต่ยังมีประมาณครึ่งหนึ่งที่ยังคงอยู่ในรูปของ NH_4^+ และส่วนนี้ที่จะสร้างความเป็นกรดให้เกิดในดิน (ภาพที่2.8) ในขณะที่ปุ๋ย $Ca(NO_3)$ เป็นปุ๋ยที่สร้างความเป็นด่าง (Alkalinity) ให้กับดิน ทั้งนี้เพราะพืชจะดูดใช้ NO_3^- มากกว่า Ca_2^+ ในระหว่างนั้นพืชจะปลดปล่อย OH^- ทำให้อาณาบริเวณรากพืชมีความต่างเกิดขึ้น ดังนั้นปุ๋ยประเภท NO_3^- ทำให้ดินเป็น pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณและการกระจายตัวของ NH_4^+, NO_3^- และ pH ของดินในระยะ 0.0-1.5,1.5-3,3-5,5-7 และ7-9 cm จากจุดศูนย์กลาง หลังการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียเหลวในอัตรา 19 กก./ไร่ ที่ใช้ระยะปลูก 25 cm (ที่มา: Nommik and Vahtras,1982)

สำหรับการสูญเสียไนโตรเจนจากดินนั้น อาจจะเกิดจากไนโตรเจนอาจจะอยู่ในรูปของไนเตรท (NO_3^-) และถูกชะล้าง (Leaching) หรือถูกพัดพาโดยการกัดกร่อนของดิน (Erosion) และการไหลบ่าบนผิวหน้าดิน (Run off) นอกจากนี้ยังสูญเสียโดยการเคลื่อนย้ายออกไปในรูปของผลผลิตของพืชและสัตว์ และผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) และกระบวนการระเหย (Volatilization) ในระบบนิเวศเกษตร (มุกดา, 2544)

2. พอลิเมอร์ (polymer) (บุญมี, 2552)

พอลิเมอร์ (polymer) ที่ใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สารออกฤทธิ์ชนิดต่าง ๆ ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้เป็นอย่างดีโดยสารนั้นไม่หลุดร่วงไปซึ่งทำให้ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยลง โดยมากมีการใช้ crystalline polymer ปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ส่วนประกอบเป็นมอนอเมอร์จะประกอบด้วยส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่เชื่อมต่อของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลที่มีส่วนประกอบ 50 เปอร์เซ็นต์ พอลิเมอร์จะมีสายคาร์บอนพื้นฐาน C^{12} ถึง C^{15} ซึ่งความยาวของมอนอเมอร์จะมีผลทำให้พอลิเมอร์มีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน และยังใช้ในการปรับการผ่านเข้าออกของน้ำของพอลิเมอร์ซึ่งอาจทำให้น้ำผ่านเข้าไม่ได้จนถึงที่น้ำที่ผ่านเข้าสู่เมล็ดจนทำให้เกิดการงอก (Pamuk, 2004) ซึ่งต้องมีความสามารถที่จะก่อให้เกิดฟิล์มอย่างต่อเนื่องบนพื้นผิวของวัสดุที่จะเคลือบภายใต้สภาวะที่ใช้ (Marshall, 1979) การใช้สารก่อฟิล์มหลายประเภทด้วยกันตามคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป สามารถแบ่งชนิดของสารก่อฟิล์มตามความสามารถในการละลาย คือ

2.1 พอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ (water soluble polymer) พอลิเมอร์ชนิดที่ละลายน้ำได้มีหลายชนิดอันได้แก่ Methylcellulose (MC), Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC), Hydroxypropyl cellulose (HPC), Hydroxyethyl cellulose (HEC) และ Polyethylene glycols (PEG), Polyvinyl alcohol (PVA), Polyvinyl pyrrolidone (PVP), Polyvinylpyrrolidone-vinyl acetate copolymer (PVP/VA copolymer) และ Polyvinyl alcohol-polyethylene glycol copolymer (PVA-PEG copolymer)

1) Methylcellulose; MC จะมีลักษณะเป็นผงมีสีขาวหรือเหลืองอ่อน ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น เป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้โดยทั่วไปในทางเภสัชศาสตร์ มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำและมีการพองตัวและกระจายอย่างช้า ๆ สำหรับเกรดที่มีความหนืดต่ำใช้สำหรับเป็นสารยึดเกาะ ใช้เพื่อกลบรสชาติที่ไม่ดีหรือควบคุมการปลดปล่อยยาโดยการควบคุมลักษณะทางกายภาพของ granules ช่วยให้การตกตะกอนของ suspension ช้าลงและเพิ่มเวลาการสัมผัสของยา สำหรับการเคลือบเม็ดยาใช้ความเข้มข้น 0.5-5 %w/w (Senderoff, 1994) และ Scott (1975) ได้รายงานว่ามีการใช้เคลือบเมล็ดซึ่งสามารถยึดเกาะกับเมล็ดได้ดี มีราคาถูกและใช้ในความเข้มข้นน้อย (3 %w/v)

2) Hydroxypropyl methylcellulose; HPMC คือ พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในการเคลือบฟิล์มมากที่สุด โดยใช้ความเข้มข้นระหว่าง 2-20%w/w (Harwood and Johnson, 1994a) มีโครงสร้างใกล้เคียงกับ methylcellulose แต่การที่มีหมู่ hydroxypropyl เพิ่มขึ้นมาทำให้พอลิเมอร์มีความเข้ากันได้กับสารอินทรีย์มากขึ้น ละลายได้ในน้ำและในน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร (gastro-intestinal

fluid) เกือบทั้งหมด นอกจากนี้ยังให้ฟิล์มที่มีความแข็งแรง คงทนต่อความร้อน แสง อากาศและความชื้นปกติสามารถรวมตัวกับ dyes, lakes และสารเติมแต่งอื่น ๆ ได้ดี มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายได้ดีในน้ำเย็นแต่ไม่ละลายในน้ำร้อน ซึ่งยังใช้เป็นสารก่อฟิล์มตัวเดียวหรือใช้ร่วมกับสารก่อฟิล์มตัวอื่น ๆ ได้ (ณรงค์, 2534; อรอนงค์, 2548; พิสิทธิ์, 2535) และยังมีการใช้เพื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน ซึ่งทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกสูงกว่าการเมล็ดไม่เคลือบสาร (Mc Gee *et al.*, 1993)

3) Hydroxypropyl cellulose; HPC เป็นสารที่มีความสามารถในการละลายคล้ายคลึงกับ HPMC แต่ให้ฟิล์มที่ค่อนข้างเหนียวกว่าและระหว่างการทำให้แห้งเวลาเคลือบจะเหนียวมาก แม้จะใส่สารเติมแต่ง (additive)อื่น ๆ ลงไปช่วย เช่น acetylated monoglycerides surfactants และ plasticizers ก็ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ แต่ข้อดีของ HPC ก็คือการให้ฟิล์มที่ป้องกันความชื้นและก๊าซได้ดีกว่าอนุพันธุ์ของ cellulose ตัวอื่น ๆ จึงนิยมใช้ HPC ร่วมกับสารก่อฟิล์มตัวอื่น ๆ เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติดังกล่าว (พิสิทธิ์, 2535) สำหรับการเคลือบฟิล์มใช้ความเข้มข้น 5 %w/w (Harwood and Johnson, 1994c)

4) Hydroxyethyl cellulose; HEC จะเป็นสารพวก nonionic เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ มีการใช้เพื่อเป็นสารยึดเกาะและสารเคลือบยาเม็ด โดยความเข้มข้นที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและน้ำหนักโมเลกุลของสาร และมีคุณสมบัติแลกเปลี่ยนความชื้นกับสภาพแวดล้อมได้ (hydroscopic) (Harwood and Johnson, 1994b) และยังมีการใช้เพื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน (Mc Gee *et al.*, 1993)และเมล็ดพันธุ์บรอคโคลี่ (Almeida *et al.*, 2005) โดยไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบ

5) Polyethylene glycols; PEG ซึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 200 – 600 จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ใช้เป็น plasticizers ได้ดี พวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1000 – 6000 จะเป็นของแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะเป็นเงาและสามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ PEG สามารถละลายได้ในน้ำ gastro-intestinal juices และตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจาก PEG มีการแลกเปลี่ยนความชื้นกับสภาพแวดล้อม (hydroscopic) ดังนั้นในสูตรที่ใช้เคลือบจะต้องใช้ additives ต่าง ๆ ช่วยลดปัญหานี้ ฟิล์มที่ได้จาก PEG จะแข็ง เรียบ และมีความไวต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (พิสิทธิ์ , 2535) และได้มีรายงานการใช้ PEG 6000 เคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ (สิทธิพงศ์, 2546)

6) Polyvinyl alcohol; PVA นิยมใช้เป็นสารควบคุมการปลดปล่อยตัวยาในยาเม็ด สามารถละลายได้ในน้ำและการละลายได้อย่างช้า ๆ ในตัวทำละลายในกลุ่ม polyhydroxy บางชนิดค่าการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง แต่ไม่ละลายใน aliphatic hydrocarbon และ chlorinated hydrocarbon, ester, ketone และน้ำมัน และถูกใช้ในการเตรียมเจลชนิดต่าง ๆ ที่

สามารถแห้งได้อย่างรวดเร็วเมื่อใช้กับผิวหนัง (Hickok, 1994) ซึ่งมีการทดลองนำ Polyvinyl alcohol มาใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์ rape ไม่พบว่าเมล็ดพันธุ์มีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความงอกในระหว่างการเกิดน้ำท่วมขัง (water logging) แต่ช่วยมีความทนทานต่อสภาวะเครียด (stress) ที่เกิดขึ้น (Qiu *et al.*, 2005)

7) Polyvinyl pyrrolidone; PVP จะสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ฟิล์มของ PVP เมื่อแห้งจะใส เป็นเงามันและแข็ง แต่ระหว่างการทำให้แห้งจะเหนียวมากต้องใช้พวก powdered glidants เช่น talc หรือใช้พวก plasticizers ช่วยลดความเหนียว มักใช้ร่วมกับสารก่อฟิล์มตัวอื่น ๆ เพื่อช่วยให้ฟิล์มมีการยึดเกาะได้ดี ไม่กะเทาะหรือหลุดลอกและยังช่วยในการทำให้สีกระจายได้ดีในสารละลายที่ใช้เคลือบ (พิสิทธิ์, 2535) และยังมีการใช้เพื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน (Mc Gee *et al.*, 1993)

8) Polyvinylpyrrolidone-vinyl acetate copolymer; PVP/VA copolymer จะประกอบไปด้วย 1-vinyl-2-pyrrolidon และ vinyl acetate อัตราส่วน 6:4 เป็นพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารยึดเกาะ, granulation agent และสารก่อฟิล์ม มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 45,000-70,000 ดาลตัน สามารถละลายได้อย่างรวดเร็วในตัวทำละลายที่เป็น hydrophilic solvent เช่น น้ำ, ethanol, isopropanol, methylene chloride, glycerol และ propylene glycol แต่ละลายได้น้อยในตัวทำละลายพวก ether, cyclic hydrocarbon และ aliphatic hydrocarbon ในการเคลือบฟิล์ม PVP/VA copolymer สามารถสร้างฟิล์มได้ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดด่างทุกค่า มีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นโดยดูดซับความชื้นเพียง 1 ใน 3 ของ povidone แต่ให้ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าฟิล์มของ povidone ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารก่อฟิล์มร่วมไม่นิยมใช้เป็นสารก่อฟิล์มเพียงชนิดเดียว โดยมีคำแนะนำให้ใช้ร่วมกับอนุพันธ์ของ cellulose, shellac หรือ PEG โดยไม่จำเป็นต้องมีพลาสติกไซเซอร์และให้ฟิล์มที่มีความเรียบสม่ำเสมอ (BASF The chemical company, 2006a)

9) Polyvinyl alcohol-polyethylene glycol copolymer; PVA-PEG copolymer จะประกอบด้วย polyvinyl alcohol 75% และ polyethylene glycol 25% มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 45,000 ดาลตัน สำหรับการเคลือบฟิล์มนิยมใช้เคลือบเพื่อให้มีการปลดปล่อยยาทันทีโดยใช้ความเข้มข้น 15-25% สารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำซึ่งช่วยลดเวลาและต้นทุนในการผลิต และยังมีคุณสมบัติลดแรงตึงผิวของน้ำซึ่งทำให้ง่ายต่อการฉีดพ่นและมีการเปียกของหยดละอองของสารได้ดีบนผิวของเม็ดยา คุณสมบัติการเป็นสารลดแรงตึงผิวนี้ช่วยป้องกันการเกาะติดกันของอนุภาคของสีและทำให้มีการกระจายตัวของสีอย่างสม่ำเสมอ ให้ฟิล์มที่มีความมันเงาสวยงาม และช่วยปกป้องสารออกฤทธิ์จากแสง อากาศ และความชื้น (BASF The chemical company, 2006b)

2.2 พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ(water insoluble polymer) พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ กลุ่ม cellulose ether เช่น Ethylcellulose (EC) และ Eudragit RL30D

1) Ethylcellulose; EC จะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำที่มีการใช้มากที่สุดในการเคลือบฟิล์มมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) หลายชนิด และมักจะใช้ร่วมกับ cellulose ethers ตัวอื่น ๆ เพื่อปรับแต่งคุณสมบัติของฟิล์มซึ่งมักใช้ร่วมกับ HPMC เพื่อให้ได้ฟิล์มที่เหนียวขึ้นและค่อนข้างทนต่อสิ่งแวดล้อม (พิสิทธิ์, 2535) และยังมีการใช้เพื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน แต่พบว่าเมล็ดพันธุ์มีความงอกลดลง (Mc Gee *et al.,* 1993)

2) Eudragit RL30D (poly (ethylacrylate-methyl methacrylate) triethyl ammonioethyl methacrylate chloride 1:2:0:2) จะประกอบด้วย acrylic polymer และ methacrylic acid esters มีลักษณะเป็น aqueous polymeric dispersion ใช้เป็นสารก่อฟิล์ม สารยึดเกาะ สำหรับการเคลือบฟิล์มมีการใช้ Eudragit RL30D ในรูปฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยา ฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการแพร่ผ่านสูง มีค่าความเป็นกรดด่าง 4.98 สามารถละลายได้บางส่วนในน้ำ, acetone alcohol, dichloromethane และ ethyl acetate แต่ไม่ละลายใน 1 N NaOH โดย plasticizer ที่แนะนำให้ใช้คือ dibutyl phathalate, Polyethylene glycols, triethyl citrate, triacetin และ 1,2-propylene glycol โดยใช้ประมาณ 10-25 % (โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์) หากไม่ต้องการปรับความยืดหยุ่นของฟิล์มก็ไม่จำเป็นต้องมีพลาสติไซเซอร์ (Chang and Shukla, 2000) และยังมีการใช้เพื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน (Mc Gee *et al.,* 1993)

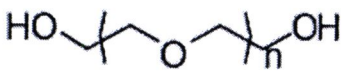
2.3 พอลิเมอร์ที่มีการละลายขึ้นอยู่กับ pH มีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ Cellulose acetate phathalate (CAP) และ Hydroxypropyl methylcellulose phathalate (HPMCP)

1) Cellulose acetate phathalate; CAP จะละลายได้ใน acetone และ dioxane และละลายได้ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH 6 หรือสูงกว่านี้ แต่ CAP จะแลกเปลี่ยนความชื้นกับสภาพแวดล้อม (hydroscopic) และเกิด hydrolytic breakdown ได้ง่ายเมื่อเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง และฟิล์มของ CAP จะสามารถให้สารละลายไอออนผ่านเข้าออกได้และทำหน้าที่เป็น diffusion membrane แต่จะลดปัญหานี้ได้โดยการใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ตัวอื่นที่เป็น hydrophobic มากกว่า (พิสิทธิ์, 2535)

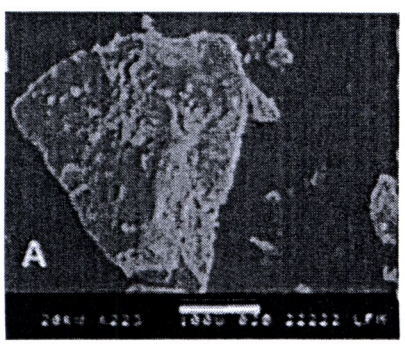
2) Hydroxypropyl methylcellulose phathalate; HPMCP จะมีคุณสมบัติคล้าย CAP ถ้าควบคุมระดับ esterification จะทำให้มีการละลายในสารละลายที่มี pH ต่ำกว่าการละลายของ CAP (พิสิทธิ์, 2535)

คุณสมบัติของพอลิเอธิลีนไกลคอล (Polyethylene glycols; PEG)

พอลิเอธิลีนไกลคอล, PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 200-600 จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ใช้เป็น plasticizers ได้ดี พวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1000–6000 จะเป็นของแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะเป็นเงาและสามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ PEG สามารถละลายได้ในน้ำ gastro-intestinal juices และตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจาก PEG มีการแลกเปลี่ยนความชื้นกับสภาพแวดล้อม (hydroscopic) ดังนั้นในสูตรที่ใช้เคลือบจะต้องใช้ additives ต่าง ๆ ช่วยลดปัญหานี้ ฟิล์มที่ได้จาก PEG จะแข็ง เรียบ และมีความไวต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (พิสิทธิ์, 2535) และได้มีรายงานการใช้ PEG 6000 เคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ (สิทธิพงศ์, 2546) Siviritepe and Dourado (1995) พบว่า การแช่เมล็ดในสารละลาย PEG 6000 ที่มีศักย์ของน้ำต่ำจะขัดขวางไม่ให้น้ำซึมเข้าสู่ภายนอกเซลล์เร็วเกินไป น้ำที่เข้าไปจะเพียงพอต่อกิจกรรมต่างๆ ภายในเมล็ด ซึ่งอาจทำให้มีการรั่วไหลของสารจากภายในเซลล์ออกมาสู่ภายนอกเซลล์ได้น้อยลง ดังนั้นกิจกรรมต่างๆ จึงดำเนินไปอย่างปกติ



ภาพที่ 2.9 แสดงสูตรโครงสร้าง พอลิเอธิลีนไกลคอล, PEG (Smolinske and Susan, 1992)



ภาพที่ 2.10 ผลึกพอลิเอธิลีนไกลคอล PEG 6000 จากกล้อง SEM 100 μm

ที่มา:Leonardi *et al.*, 2007

ชนิดของคุณสมบัติของพอลิเมอร์แบ่งอย่างกว้างๆได้เป็นหลายหมวดขึ้นกับความละเอียดในระดับนาโนหรือไมโครเป็นคุณสมบัติที่อธิบายลักษณะของสายโดยตรงโดยเฉพาะโครงสร้างของพอลิเมอร์ ในระดับกลาง เป็นคุณสมบัติที่อธิบายสัณฐานของพอลิเมอร์เมื่ออยู่ในที่ว่าง ในระดับ

กว้างเป็นการอธิบายพฤติกรรมโดยรวมของพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติในระดับการใช้งาน (Cowie, 1991)

1.คุณสมบัติในการขนส่ง เป็นคุณสมบัติของอัตราการแพร่หรือโมเลกุลเคลื่อนไปได้เร็วเท่าใดในสารละลายของพอลิเมอร์ มีความสำคัญมากในการนำพอลิเมอร์ไปใช้เป็นเยื่อหุ้ม

2. จุดหลอมเหลว คำว่าจุดหลอมเหลวที่ใช้กับพอลิเมอร์ไม่ใช่การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวแต่เป็นการเปลี่ยนจากรูปผลึกหรือกึ่งผลึกมาเป็นรูปของแข็ง บางครั้งเรียกว่าจุดหลอมเหลวผลึก ในกลุ่มของพอลิเมอร์สังเคราะห์ จุดหลอมเหลวผลึกยังเป็นที่ถกเถียงในกรณีของเทอร์โมพลาสติกเช่นเทอร์โมเซตพอลิเมอร์ที่สลายตัวในอุณหภูมิสูงมากกว่าจะหลอมเหลว

3. พฤติกรรมการผสม โดยทั่วไปส่วนผสมของพอลิเมอร์มีการผสมกันได้น้อยกว่าการผสมของโมเลกุลเล็กๆ ผลกระทบนี้เป็นผลจากข้อเท็จจริงที่ว่าแรงขับเคลื่อนสำหรับการผสมมักเป็นแบบระบบปิด ไม่ใช่แบบใช้พลังงาน หรืออีกอย่างหนึ่ง วัสดุที่ผสมกันได้ที่เกิดเป็นสารละลายไม่ใช่เพราะปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลที่ชอบทำปฏิกิริยากันแต่เป็นเพราะการเพิ่มค่าเอนโทรปีและพลังงานอิสระที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาตรที่ใช้งานได้ของแต่ละส่วนประกอบ การเพิ่มขึ้นในระดับเอนโทรปีขึ้นกับจำนวนของอนุภาคที่นำมาผสมกัน เพราะโมเลกุลของพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่กว่าและมีความจำเพาะกับปริมาตรเฉพาะมากกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก จำนวนของโมเลกุลที่เกี่ยวข้องในส่วนผสมของพอลิเมอร์มีค่าน้อยกว่าจำนวนในส่วนผสมของโมเลกุลขนาดเล็กที่มีปริมาตรเท่ากัน ค่าพลังงานในการผสมเปรียบเทียบได้ต่อหน่วยปริมาตรสำหรับส่วนผสมของพอลิเมอร์และโมเลกุลขนาดเล็ก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของพลังงานอิสระในการผสมสารละลายพอลิเมอร์และทำให้การละลายของพอลิเมอร์เกิดได้น้อย สารละลายพอลิเมอร์ที่เข้มข้นพบน้อยกว่าที่พบในสารละลายของโมเลกุลขนาดเล็ก ในสารละลายที่เจือจาง คุณสมบัติของพอลิเมอร์จำแนกโดยปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายและพอลิเมอร์ ในตัวทำละลายที่ดี พอลิเมอร์จะพองและมีปริมาตรมากขึ้น แรงระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับหน่วยย่อยจะสูงกว่าแรงภายในโมเลกุล ในตัวทำละลายที่ไม่ดี แรงภายในโมเลกุลสูงกว่าและสายจะหดตัว ในตัวทำละลายแบบธีตา หรือสถานะที่สารละลายพอลิเมอร์ซึ่งมีค่าของสัมประสิทธิ์วิเรียลที่สองเป็นศูนย์ แรงผลักระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับตัวทำละลายเท่ากับแรงภายในโมเลกุลระหว่างหน่วยย่อย ในสภาวะนี้ พอลิเมอร์อยู่ในรูปเกลียวอุดมคติ

4. การแตกกิ่ง การแตกกิ่งของสายพอลิเมอร์มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทั้งหมดของพอลิเมอร์ สายยาวที่แตกกิ่งจะเพิ่มความเหนียว เนื่องจากการเพิ่มจำนวนของความซับซ้อนต่อสาย ความยาวอย่างสุ่มและสายสั้นจะลดแรงภายในพอลิเมอร์เพราะการรบกวนการจัดตัว โซ่ข้างสั้นๆลดความเป็นผลึกเพราะรบกวนโครงสร้างผลึก การลดความเป็นผลึกเกี่ยวข้องกับการเพิ่มลักษณะโปร่งใสแบบกระจกเพราะแสงผ่านบริเวณที่เป็นผลึกขนาดเล็ก ตัวอย่างที่ดีของผลกระทบนี้เกี่ยวข้องกับขอบเขตของลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีน พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีระดับการแตกกิ่งต่ำ มีความแข็งและใช้เป็นเหยือกนม พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีการแตกกิ่งขนาดสั้นๆจำนวนมาก มีความยืดหยุ่นกว่าและใช้ในการทำฟิล์มพลาสติก ดัชนีการแตกกิ่งของพอลิเมอร์เป็นคุณสมบัติที่ใช้จำแนกผลกระทบของการแตกกิ่งสายยาวต่อขนาดของโมเลกุลที่แตกกิ่งในสารละลาย เดนไดรเมอร์เป็นกรณีพิเศษของพอลิเมอร์ที่หน่วยย่อยทุกตัวแตกกิ่ง ซึ่งมีแนวโน้มลดแรงระหว่างโมเลกุลและการเกิดผลึก พอลิเมอร์แบบเดนดริติกไม่ได้แตกกิ่งอย่างสมบูรณ์แต่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเดนไดรเมอร์เพราะมีการแตกกิ่งมากเหมือนกัน

5. การเติมพลาติซิเซอร์ การเติมพลาสติซิเซอร์มีแนวโน้มเพิ่มความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ พลาสติซิเซอร์โดยทั่วไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับพอลิเมอร์และเข้าเติมในช่องว่างของพอลิเมอร์ที่เคลื่อนไหวได้ดีและลดปฏิกิริยาระหว่างสาย ตัวอย่างที่ดีของพลาสติซิเซอร์เกี่ยวข้องกับพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี พีวีซีที่ไม่ได้เติมพลาสติซิเซอร์ใช้ทำท่อ ส่วนพีวีซีที่เติมพลาสติซิเซอร์ใช้ทำผ้าเพราะมีความยืดหยุ่นมากกว่า

การประเมินประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของพืช

จากการที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตเจนที่เพิ่มขึ้นทั้งในประเทศไทยและภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก จึงมีการถามถึงประสิทธิภาพที่ใช้ให้กับพืชต่างๆ ในการผลิตพืชนั้น และสิ่งหนึ่งที่ควรให้ความสำคัญคือการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการประเมินประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (Snyder and Bruulsema, 2007; Dobermann, 2007)

ประสิทธิภาพ หมายถึง ความสามารถที่ทำให้เกิดผลในการทำงาน หากพิจารณาในแง่การผลิตประสิทธิภาพในการผลิต คือผลผลิต (Product) ที่ได้ต่อหน่วยของทรัพยากร หรือวัตถุดิบที่ใช้ สำหรับการใช้ปุ๋ยเพื่อบำรุงให้พืชเจริญเติบโตนั้น เนื่องจากปุ๋ยมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบจึงถือว่าปุ๋ยเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งซึ่งพืชดูดไปใช้แล้วก่อให้เกิดผลผลิต (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย (Recovery Efficiency, RE)

ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย คืออัตราส่วนของปริมาณธาตุอาหารจากปุ๋ยที่พืชดูดมาได้ กับปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ หากคูณด้วยร้อยละจะได้อัตราร้อยละ ซึ่งหมายความถึงน้ำหนักของธาตุอาหารที่พืชดูดได้จากปุ๋ย เมื่อมีธาตุอาหารในปุ๋ยที่ใส่หนึ่งร้อยหน่วย จากการทดลองใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (N) จะคำนวณได้ดังนี้

ถ้า Uf = ไนโตรเจนทั้งหมดในพืชที่ใส่ปุ๋ย (กก.N/ไร่)

U0 = ไนโตรเจนทั้งหมดในพืชที่ไม่ใส่ปุ๋ย (กก.N/ไร่)

Fn = อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กก.N/ไร่)

ดังนั้น (Uf – U0) = ไนโตรเจนทั้งหมดในพืชที่เพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยอัตรา Fn กก.N/ไร่

ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย (%) = (Uf – U0) x 100/Fn