

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัย เรื่อง ประสิทธิภาพไคโตซานต่อผลผลิตของแตงกวา (*Cucumis sativas* L.) ผู้วิจัย ได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยขอเสนอหัวข้อตามลำดับ ดังนี้

1. แตงกวา
2. สารไคตินและไคโตซาน
3. ปุ๋ยเคมี

1. แตงกวา

แตงกวาเป็นผักชนิดหนึ่งที่หาซื้อง่ายราคาไม่แพง และเป็นที่นิยมรับประทานกันทั่วไป สามารถนำมาใช้รับประทานผลสดหรือใช้ประกอบอาหารต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น ทำสลัด แกงจืด หรือ ใช้ดอง เป็นต้น ในประเทศไทยนิยมปลูกแตงกวาเป็นอาชีพ และปลูกเป็นผักสวนครัวกันมาก เนื่องจากแตงกวาเป็นผักที่ปลูกง่าย ให้ผลผลิตเร็ว และอายุสั้น อีกทั้งสภาพแวดล้อมของไทยเหมาะแก่การเจริญเติบโตของแตงกวา (สุนทร เรื่องเกษม 2539)

แตงกวามีถิ่นกำเนิดแถบอินเดียนับที่มีการบันทึกประวัติการปลูกมากกว่า 3,000 ปี และมีการปลูกในประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนเมื่อก่อน 2,000 ปี โดยนำผ่านเอเชียกลาง และตอนเหนือของทวีปแอฟริกา ในศตวรรษที่ 6 ได้นำไปปลูกในสาธารณรัฐประชาชนจีนโดยสันนิษฐานว่าได้นำเข้าสาธารณรัฐประชาชนจีน 2 ทาง คือ เส้นทางสายไหม โดยผ่านประเทศในเอเชียตะวันออก ไปภาคเหนือ ส่วนอีกเส้นทางโดยผ่านประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศเมียนมาร์ ประเทศไทย สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ไปสู่ทางภาคใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน ในศตวรรษที่ 9 – 14 ได้นำไปปลูกในทวีปยุโรปและได้รับการพัฒนาพันธุ์ ต้นศตวรรษที่ 19 ได้รับการพัฒนาให้เหมาะสมต่อการปลูกได้ในโรงเรือน ในศตวรรษที่ 15 – 16 ได้นำไปปลูกในทวีปอเมริกากลางและอเมริกาเหนือ และได้รับการพัฒนาพันธุ์อย่างมากในประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 (เฉลิมเกียรติ โกลาวัฒนา และ ภัศรา ขวประดิษฐ์ 2539)

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แตงกวามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis sativas* L. อยู่ในสกุล Cucurbitaceae (โชคบุญทรง 2533) หรือสกุล Gourd สกุลนี้มี 96 genera และ 750 species (นิพนธ์ ไชยมงคล 2528) มีจำนวนโครโมโซม $2n = 14$ (คณพล จุฑามณี 2537) แตงกวาจัดเป็นพืชผสมข้ามแต่มีโอกาสผสมตัวเองได้ 1 – 47 เปอร์เซ็นต์ (จานุรักษ์ ขนบดี 2535) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและเขตอบอุ่น แตงกวา แตงร้าน และแตงคอง จัดเป็น cucumber เหมือนกัน มีชื่อวิทยาศาสตร์ และจำนวนโครโมโซมเท่ากันสามารถผสมข้ามกันได้ (กมล เลิศรัตน์ 2536)

1.1.1 ราก ระบบรากเป็นระบบรากแก้ว (สุนทร เรืองเกษม 2539) มีรากแขนงเป็นจำนวนมาก รากสามารถแผ่ทางด้านกว้างและหยั่งลงได้ลึกถึง 1 เมตร (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และ ภัศรา ขวประดิษฐ์ 2539) รากแขนงบางรากเมื่อเจริญลึกถึงระดับรากแขนงจะเจริญในแนวนอนรอบ ๆ ต้น รากแขนงบางรากเมื่อเจริญในแนวนอนยาว 1 – 2 ฟุต จะเจริญในแนวตั้งซึ่งอาจจะลึกกว่ารากแก้ว และสามารถทดแทนรากแก้วเมื่อต้นแก่ (นิพนธ์ ไชยมงคล 2545) โดยที่ Hartmann and others (1988) กล่าวว่ารากจะอยู่หนาแน่นที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร

1.1.2 ลำต้น เป็นพืชล้มลุกที่มีลำต้นเป็นเถาเลื้อยที่มีมือเกาะช่วยพยุงลำต้น แต่บางพันธุ์มีเถาสั้นและสามารถปลูกเป็นพุ่มเตี้ยในภาชนะได้ ลำต้นเป็นเหลี่ยม มีขนปกคลุมอยู่ทั่วไป ลำต้นยาวประมาณ 2 – 3 เมตร (สุนทร เรืองเกษม 2539) กิ่งแขนงเป็นแบบ sympodial type โดยแต่ละข้อของกิ่งแขนงจะมีตาข้างซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญ สำหรับกิ่งและผลใหม่อยู่ตรงข้ามกับใบ แต่ละข้อมีใบเดี่ยว (นิพนธ์ ไชยมงคล 2545) มือเกาะเกิดออกมาตามข้อ โดยส่วนปลายของมือเกาะไม่มีการแตกแขนงเป็นหลายเส้น ใบมีก้านใบยาว 5 – 15 เซนติเมตร ใบหยาบมีขนใบมีมุมใบ 3 – 5 มุม ปลายใบแหลม ใบใหญ่แบบ palmate มีเส้นใบ 5 – 7 เส้น (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และ ภัศรา ขวประดิษฐ์ 2539)

1.1.3 ดอก ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกัน ดอกตัวผู้จะเกิดเป็นกลุ่ม 3 – 5 ดอก ดอกตัวเมียมักจะเกิดเดี่ยวๆ ดอกมีสีเหลือง ดอกตัวเมียจะสังเกตได้ง่ายคือ มีลักษณะแตงกวาผลเล็ก ๆ ติดกับกลีบดอก ส่วนดอกตัวผู้จะมีเฉพาะก้านดอกเท่านั้น (สุนทร เรืองเกษม 2539) ดอกตัวเมียส่วนใหญ่จะเจริญเป็นดอกเดี่ยวบนข้อของเถาใหญ่ และเถาแขนง มีเกสรตัวผู้ที่ไม่สมบูรณ์ กลีบดอกสีเหลืองมีจำนวนห้ากลีบ ก้านเกสรตัวเมียอวบสั้น มียอดเกสรแบ่งเป็นสามส่วน ส่วนของรังไข่มีช่องว่างสามช่อง ต่อมน้ำหวานมีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่รอบฐานก้านเกสรตัวเมีย ดอกตัวผู้สังเกตได้ง่าย เนื่องจากมีก้านดอกเรียวยาว ไม่มีรังไข่ มีกลีบเลี้ยงห้ากลีบ มีก้านเกสรตัวผู้ 3 ก้าน โดยสองก้านจะมีอับละอองเกสรสองอันและอีกก้านหนึ่งมีหนึ่งอับเจริญที่ข้อเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3 – 5 ดอก (นิพนธ์ ไชยมงคล 2545)

ดอกตัวเมียและดอกตัวผู้บานในตอนเช้าและพร้อมรับการผสมเกสร ดอกจะหุบตอนบ่ายภายในวันเดียวกัน การเกิดดอกตัวเมียนั้นขึ้นอยู่กับช่วงแสงและอุณหภูมิ กล่าวคือ จะเกิดดอกตัวเมียมากกว่าดอกตัวผู้ในสภาพช่วงแสงสั้นและมีอุณหภูมิกลางคืนต่ำ ซึ่งตรงกับฤดูหนาวของเมืองไทย (เฉลิมเกียรติ โกศาวัฒนา และ ภัสรา ชวประดิษฐ์ 2539) อวัยวะที่ทำหน้าที่รับแสงในพืชตระกูลแตง คือ ใบอ่อนโดยการทดลองเพื่อยืนยันว่าใบเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับแสง โดยการเด็ดใบขณะเริ่มมีการกางใบ พบว่ามีแนวโน้มออกดอกตัวเมียลดลง (คณพล จุฑามณี 2537)

การแสดงเพศของแตงกวามีหลายลักษณะดังนี้ (นิพนธ์ ไชยมงคล 2545)

- Male or staminate flower คือ ดอกที่ไม่มีเกสรตัวเมีย
- Female or pistillate flower คือ ดอกที่ไม่มีเกสรตัวผู้
- Androecious คือ ลักษณะที่มีเฉพาะตัวผู้เท่านั้น
- Gynoecious คือ ลักษณะที่มีเฉพาะตัวเมียเท่านั้น
- Hermaphroditic คือ ลักษณะที่มีดอกสมบูรณ์เพศเท่านั้น
- Monoecious คือ ลักษณะที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียในต้นเดียวกัน
- Andromonoecious คือ ลักษณะที่มีดอกตัวผู้และดอกสมบูรณ์เพศในต้น

เดียวกัน

- Gynomonoecious คือ ลักษณะที่มีดอกตัวเมีย และดอกสมบูรณ์เพศในต้น

เดียวกัน

- Predominantly female คือ ลักษณะที่มีดอกส่วนใหญ่เป็นดอกตัวเมีย และ

บางส่วนเป็นดอกตัวผู้

- Trimonoecious คือ ลักษณะที่มีดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกสมบูรณ์เพศ

ในต้นเดียวกัน

ผลเป็นแบบ false berry หรือ pepo ลักษณะกลมยาว หรือเป็นเหลี่ยม ขนาดรูปร่าง สี ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ผิวอาจจะเรียบหรือขรุขระ บางสายพันธุ์จะมีปุ่มคล้ายหนามโดยทั่วไป ผลเมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือขาว เจริญจากเถาหลักไปเถาแขนง

1.2 ประเภทของแตงกวา

กองบรรณาธิการฐานเกษตรกรรม (2531) แตงกวาที่ปลูกในประเทศส่วนมากเป็นพันธุ์พื้นเมือง แต่โดยทั่วไปสามารถจำแนกตามประโยชน์ใช้สอยได้ดังนี้

1.2.1 พันธุ์สำหรับรับประทานสด เป็นพันธุ์ที่มีเนื้อบางและใส้ใหญ่ เปลือกสีเขียว

อ่อน ผลมีน้ำมาก เป็นพันธุ์ที่มีทั้งผลเล็กและผลใหญ่ เมื่ออ่อนอยู่จะมีหนามเต็มไปหมด แต่เมื่อโตหนามจะหลุดออกเอง พันธุ์ที่รับประทานสดนี้ถ้านำไปดองจะไม่อร่อยเพราะมีน้ำมาก และนิ่มง่าย

1.2.2 พันธุ์อุตสาหกรรม เป็นพันธุ์ที่มีเนื้อหนา ใ้เล็ก บางพันธุ์ไม่มีใ้เลย เปลือกมีสีเขียวเข้มเมื่อนำไปคองจะคงรูปร่างได้ดีไม่ค่อยเหี่ยวแห้ง แตงกวาพันธุ์นี้มักเป็นพันธุ์ลูกผสมไม่ใช่พันธุ์พื้นเมืองของไทย ผลมักมีรูปร่างพอมยาว โขก บูดทรง (2533) รายงานว่า แตงกวาพันธุ์พื้นเมืองก็สามารถคองได้ โดยมีการทดลองนำพันธุ์พื้นเมืองที่คัดแล้ว (ผลเล็ก) เมื่อนำมาคองปรากฏว่าผลแตงกวาที่อายุ 4 – 5 วัน หลังคองบานก็สามารถคองได้เช่นกัน

ในการปลูกแตงกวาเมื่อมีช่วงแสงสั้น และอุณหภูมิต่ำ สามารถเกิดดอกตัวเมียได้มากกว่าดอกตัวผู้ เพื่อต้องการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม จึงต้องฉีดจิบเบอเรลลินในอัตรา 1,000 ส่วนในล้านส่วน หรือใช้ซิลเวอร์ไนเตรทในอัตรา 600 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้เกิดดอกตัวผู้ในระยะแรก (McDonald and others, 1996)

1.3 สภาพแวดล้อม และการเจริญของแตงกวา

แตงกวาเป็นพืชวันสั้น ต้องการแสงน้อย คือต่ำกว่า 9 ชั่วโมงต่อวัน จึงเจริญได้ดีสำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 18 – 25 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่เดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์ ในสภาพความชื้นในอากาศต่ำแตงกวาสามารถเจริญเติบโตได้ดี และเหมาะสมสำหรับการผสมเกสร (กอบแก้ว ศรีวรรณ 2529)

อุณหภูมิของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต การเจริญของดอก การติดผลและการเจริญของผล ตลอดจนคุณภาพของผล การเจริญของแตงกวาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวัน ถ้าหากอุณหภูมิเฉลี่ยสูง อัตราการเจริญจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนสูง ความสูงของพืชจะเพิ่มขึ้นแต่ขนาดของใบลดลง อัตราการเจริญของพืชจะสูงที่สุดในอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันและกลางคืน 28 องศาเซลเซียส ผลผลิตจะสูงที่สุดในอุณหภูมิกกลางคืน 19 – 20 องศาเซลเซียส และกลางวัน 20 – 22 องศาเซลเซียส (นิพนธ์ ไชยมงคล 2545)

แตงกวาที่ปลูกในฤดูหนาวจะใช้เวลานานกว่าในฤดูร้อน แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยสามารถปลูกแตงกวาได้ตลอดปี แต่ถ้าปลูกให้ได้ผลดีที่สุดควรเป็นช่วงฤดูร้อน คือ กุมภาพันธ์ – มีนาคม เพราะมีอากาศเหมาะสมที่สุด ถ้าปลูกในฤดูฝนจะมีโรคทางใบมาก (กองบรรณาธิการฐานเกษตรกรรม 2531)

แตงกวาจะสามารถจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดระหว่างค่าความเป็นกรดค่า 5.5 – 6.7 เป็นดินที่ระบายน้ำได้ดี (Katyal and Chadha, 1987) ดินที่ใช้ปลูกแตงกวาควรเป็นดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี มีสภาพเป็นกลาง หรือเป็นกรดเล็กน้อย (pH ประมาณ 5.5 – 6.5) ไม่ควรปลูกในที่แฉะเกินไป เพราะอาจเกิดโรคทางใบโดยเฉพาะโรคน้ำค้าง (Downy mildew) ได้ง่าย (โชค บุญทรง 2533) นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญสำหรับการปลูกพืชตระกูลแตง คือ โรคทางดิน ได้แก่ โรคฟิวซาเรียมวิลท์

หรือ Fusarium wilt ที่เข้าไปทำลายในต้นพืชได้ทางบริเวณบาดแผล หรือช่องเปิดธรรมชาติบริเวณปลายราก ทำให้ท่อลำเลียงเกิดการอุดตัน และต้นพืชเหี่ยวตายในที่สุด

1.4 การปลูก

ระยะปลูกระหว่างต้น 60 – 80 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 100 เซนติเมตร เจาะหลุมตามระยะปลูกที่กำหนด นำเมล็ดหยอดตามหลุม 3 – 4 เมล็ด กลบดินและรดน้ำ เมื่อกล้างอกมีใบจริง 2 – 3 ใบ ถอนต้นไม่สมบูรณ์ออกเหลือ 2 ต้น หลังปลูก 14 วันควรเด็ดกิ่งแขนง 5 ข้อแรก (ใบ) จากพื้นดินออกแล้วจึงเริ่มปล่อยให้ติดผล หากต้องการคุณภาพผลที่ดีเถาที่แตกใหม่ควรควบคุมให้มี 2 ข้อ โดยตัดเหนือข้อที่ 2 ผลผลิตจะทยอยออกสม่ำเสมอ (กองบรรณาธิการคู่มือการเพาะปลูกผักสวนครัวและผักพืชบ้าน 2551)

1.5 การเตรียมดิน

ไถดินให้ลึก 30 – 40 เซนติเมตร ตากดินไว้ 7 – 10 วัน ย่อยดินให้ละเอียด หว่านปุ๋ยขาวในอัตรา 100 – 200 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยสูตร 46-0-0 ผสมสูตร 15-15-15 อย่างละเท่า ๆ กันอัตรา 30 – 50 กิโลกรัมต่อไร่ คลุกเคล้าในแปลง ยกแปลงสูงประมาณ 30 เซนติเมตร กว้าง 120 เซนติเมตร รดน้ำและคลุมด้วยพลาสติก เพื่อรักษาความชื้นและป้องกันวัชพืช (กองบรรณาธิการคู่มือการเพาะปลูกผักสวนครัวและผักพืชบ้าน 2551)

1.6 การดูแลรักษา

1.6.1 การให้น้ำ พืชตระกูลแตงต้องการน้ำมากสำหรับการเจริญเติบโตของลำต้นและผลตลอดอายุการปลูก แต่การให้น้ำมากเกินไปจะทำให้ผลผลิตและขนาดของผลผลิตลดลงเนื่องจากน้ำจะชะล้างปุ๋ยไปจากบริเวณราก จำนวนครั้งในการให้น้ำขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของดิน

1.6.2 การทำค้าง ทำค้างรูปสามเหลี่ยม (กระโจม) สูง 1.80 – 2.00 เมตร ไม่ควรทำการปักไม้ค้างโดนรากทำให้รากขาดกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.6.3 การใส่ปุ๋ย หลังการปลูก 7 – 15 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อเร่งการเจริญเติบโต ไนโตรเจนมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต จึงควรให้เป็นระยะ ๆ หลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งแรก 15 – 20 วัน ให้ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 สัดส่วน 1:2 อัตรา 30 – 50 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับในช่วงออกดอก – ติดผลให้ใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ทุก ๆ 10 วัน (กองบรรณาธิการคู่มือการเพาะปลูกผักสวนครัวและผักพืชบ้าน 2551)

1.7 การเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวผลแดงในขณะเมล็ดภายในยังอ่อน หรือเก็บในขณะที่สีของผลเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีเขียวเข้ม หรือเก็บในขณะที่เปลือกยังอ่อน อย่าปล่อยให้ผลแก่คั่ว เพราะจะทำให้ผลผลิตลดลง ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวประมาณ 5 เดือน และจะเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 100 ผลต่อต้น โดยทั่วไปแดงจะเริ่มเก็บเกี่ยวได้หลังจากหยอดเมล็ด 40 – 60 วัน และจะเก็บเกี่ยวหลังดอกบาน 10 – 40 วัน (กองบรรณาธิการคู่มือการเพาะปลูกผักสวนครัวและผักพื้นบ้าน 2551)

1.8 ธาตุอาหารในแตงกวา

ปริมาณธาตุอาหารที่แตงกวาคูดขึ้นไปยังส่วนต่าง ๆ นิพนธ์ ไชยมงคล (2528) ได้รายงานไว้ว่าจะขึ้นไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุอาหารที่แตงกวานำไปใช้

ธาตุอาหาร	ธาตุอาหารส่วนของพืช (กรัม)		
	ใบ	ผล	ลำต้น
ไนโตรเจน	36.8	6.4	39.7
ฟอสฟอรัส	27.6	9.4	50.7
โพแทสเซียม	27.7	12.9	40.8
แคลเซียม	60.9	5.9	7.7
แมกนีเซียม	42.9	9.6	23.5

ที่มา: นิพนธ์ ไชยมงคล (2528)

ประมาณสถานภาพของธาตุอาหารพืชที่วิเคราะห์ได้จากส่วนต่างๆ ของแตงกวา
ดังนี้

ตารางที่ 2.2 สถานภาพของธาตุอาหารพืชที่วิเคราะห์ได้จากส่วนต่าง ๆ ของแตงกวา

ระยะการเจริญเติบโตที่ เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์	ชิ้นส่วนของแตงกวา ที่นำมาวิเคราะห์	เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักแห้ง		
		N	P	K
4 ใบ	ทุกส่วนยกเว้นราก	4.60 – 4.90	> 0.44	3.15 – 3.32
เริ่มออกดอก	ทุกส่วนยกเว้นราก	3.50 – 4.40	0.44	2.41 – 2.66
เริ่มให้ผล	ใบที่เจริญเติบโตเต็มที่	2.20 – 2.80	0.22	0.83 – 1.16
ให้ผลผลิตเต็มที่	ผล	2.40 – 3.70	0.35 – 0.74	2.50 – 5.40

ที่มา: นิพนธ์ ไชยมงคล (2545)

ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในใบจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแตงกวาเริ่มออกดอก หลังจากมีผล และผลกำลังเจริญเติบโต ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบจะลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ธาตุอาหารเคลื่อนย้ายโดยตรงจากใบไปยังผล Lincoln (1987) รายงานว่า ผลผลิตแตงกวา 60.38 กิโลกรัม จะเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมาสะสมในผลเท่ากับ 6.8 – 1.8 – 9.5 กิโลกรัม ส่วนเถาแตงกวาจะเคลื่อนย้ายไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มาเป็น 2 เท่าของผล สุเทวี สุขปการ (2522) รายงานว่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่เป็นกลางหรือกรดเล็กน้อยประมาณ 5.6 – 6.5 จะทำให้แตงกวาเจริญเติบโตได้ดี

การปลูกแตงกวาในดินนั้น นิพนธ์ ไชยมงคล (2528) กล่าวว่า แตงกวาต้องการปุ๋ยไนโตรเจน 20 – 40 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินทรายควรใส่สองถึงสามครั้งโดยใส่ก่อนปลูก ใส่ระยะติดผล ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 60 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ก่อนปลูก ปุ๋ยหรือธาตุอาหารที่แตงกวาดูดขึ้นไป 50 เปอร์เซ็นต์จะถูกนำไปเลี้ยงผล

2. สารไคตินและไคโตซาน

ไคติน (chitin) เป็นพอลิเมอร์ที่ธรรมชาติได้สร้างเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมากมาย ในหลายรูปแบบ ไคตินได้รับการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดย Odier คำว่าไคติน (chitin) มาจากคำว่า chiton ในภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่าเกราะหุ้ม (Xiao and Zhanc, 2000) ไคติน เป็นพอลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (cellulose) พอลิเมอร์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้อาจพบในผนังเซลล์ของเห็ดและสาหร่ายบางพันธุ์

สารไคตินและไคโตซานเป็นสารชีวภาพเกิดในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ผสมประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วย ทำให้มีคุณสมบัติโดดเด่นและหลากหลาย มีประสิทธิภาพสูงในกิจกรรมชีวภาพและยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม (ศูนย์วัสดุชีวภาพไคติน – ไคโตซาน 2549)

ไคติน มีชื่อชีวเคมีว่า Poly [β – (1 $\rightarrow$ 4) – 2 – acetamido – 2 – deoxy – D – glucopyranose] เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างที่เป็นเส้นใย มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับเซลลูโลส แต่แตกต่างที่ไคตินประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจน (ในรูปของหมู่อะซิโอมิโด “ – NHCOCH₃”) เกาะอยู่ในโมเลกุลคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 โดยเป็นสารที่พบเป็นองค์ประกอบในเปลือกของสัตว์มีกระดอง (crustaceous shell) ประเภทกุ้ง ปู หอยและสัตว์อื่น ๆ ที่มีเปลือกแข็งหุ้มตัวประเภทแมลง รวมทั้งพบเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในเชื้อราบางชนิดและสาหร่ายบางชนิด อย่างไรก็ตาม การผลิตเชิงพาณิชย์มักจะใช้เปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึกที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งเป็นวัตถุดิบ (รัตนารุจิรวิช 2544) คุณสมบัติสำคัญของไคติน คือ โดยธรรมชาติไม่ละลายในน้ำและสารอินทรีย์ทั่วไป (สุวลิ จันทร์กระจ่าง 2543)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิลของไคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกว่ากระบวนการ deacetylation โดยการกำจัด acetyl (– COCH₃) ออกจากโครงสร้างของไคตินหรือ hydrolyze หมู่ – NHCOCH₃ ซึ่งจะถูกตัดเหลือเป็น amino (NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 C (Shahidi and others, 1999) ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต

2.1 คุณสมบัติของไคโตซาน

ไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิดและสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ ซึ่งไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก สารละลายมีลักษณะเหนียวใส มีพฤติกรรมแบบ Non – Newtonian สามารถขึ้นเป็นแผ่นเยื่อบางได้ตามธรรมชาติ (สุวดี จันทร์กระจ่าง 2543)

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบภายในโครงสร้างของไคตินมีความสำคัญต่อลักษณะโครงสร้างของไคโตซานที่จะได้ภายหลังการจัดหมู่อะซิทิล พบว่า หมู่ไกลโคซิดิกเป็นตัวนำในการเชื่อมและมีพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากในวงผลึก ซึ่งทำหน้าที่ให้อุณหภูมิของการเคลื่อนย้ายผลึกและจุดหลอมเหลวมีค่าสูง โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 170 องศาเซลเซียส และสูงสุดที่ 230 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ไคตินและไคโตซานยังมีคุณสมบัติโปร่งแสงมากกว่า 180 นาโนเมตร ในรูปอะมิโนอิสระและมากกว่า 220 นาโนเมตร ในรูปแอมโมเนียมขึ้นอยู่กับรูปแบบออลิกของโครงสร้าง (George, 1992) เมื่อให้ความร้อนแก่ไคติน – ไคโตซาน พบว่าจะไม่มีการแปรสภาพเป็นสารเหนียวและสลายสภาพในที่สุด (สุวบุญ จิราชาญชัย และคนอื่นๆ 2544)

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมีเชิงกายภาพ เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte สามารถละลายได้ดีในสารละลายชนิดที่มีค่าความเป็นกรด – ด่าง น้อยกว่า 5.5 สามารถสรุปสมบัติหน้าที่สำคัญได้คือ คุณสมบัติ hydrophilic ซึ่งเกี่ยวข้องกับการละลาย ส่วนใหญ่ไคโตซานละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นกลางและด่าง ตัวทำละลายที่ใช้คือ กรดฟอร์มิก (formic acid) และกรดอะซิติก (acetic acid) ซึ่งเป็นกรดที่ไม่ทำลายโครงสร้างของไคโตซาน ง่าย ราคาถูก แต่กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริกสามารถละลายไคโตซานได้แต่ภายหลังให้อุณหภูมิสูงปานกลาง (สุวบุญ จิราชาญชัย และคนอื่นๆ 2544) มีรายงานว่าไคโตซานไม่สามารถละลายในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด – ด่าง สูงกว่า 6.5 แต่ถ้านำไคโตซานมาบดแห้งกับกรดอินทรีย์จะทำให้สามารถละลายน้ำได้ (Kienzle and others, 1982) และสมบัติการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีลักษณะใส เหนียวและยืดหยุ่น สามารถใช้ในการห่อหุ้มอาหารหรือเป็นสารเคลือบผิวอาหารในลักษณะสารเคลือบที่รับประทานได้ (Averbach, 1978)

2.2 ประโยชน์ของไคโตซาน

ไคโตซานสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ อาหารและยา สิ่งทอ เทคโนโลยีชีวภาพและการเกษตร ซึ่งในด้านการเกษตรได้มีการนำไคโตซานมาใช้ประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว การใช้ไคโตซานในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร ได้มีการศึกษามาตั้งแต่ พ.ศ. 2537 กับการเก็บรักษามะม่วงในสภาวะบรรยากาศปกติ (อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส) สามารถยืดอายุได้นานเกินกว่า 15 วัน (ไพรัตน์ โสภโณคร และคนอื่นๆ 2536) ส่วนใหญ่ไคโตซานจะนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อลดการสูญเสีย

น้ำของผลิตผล และมีรายงานว่าการใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวสามารถป้องกันการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำผ่านเข้า – ออกของผลิตผล ลดการหายใจและคงความแน่นของเนื้อได้ แต่ในการใช้สารเคลือบผิวมีข้อเสีย คือ อาจทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ ซึ่งได้มาจากการยับยั้งการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดการสะสมของ ethanol และ acetaldehyde การเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยไคโตซาน ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.3 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงได้ โดยมีผลในการลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ (วิญญู นิยมเหลา และคนอื่นๆ 2546) Jiang and Li (2001) ใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ในการเคลือบผิวลำไย พบว่าสามารถลดอัตราการหายใจ ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ลดกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลบริเวณผิวของลำไย นอกจากนี้ยังมีการใช้ไคโตซานก่อนการเก็บเกี่ยว โดย Bittelli and others (2001) รายงานว่าการพ่นไคโตซานกับใบของพริกทำให้การคายน้ำลดลง โดยใบพริกส่วนใหญ่ที่พ่นด้วยไคโตซานจะมีการปิดของปากใบมากกว่าใบที่ไม่ได้พ่นด้วยไคโตซาน สอดคล้องกับรายงานของ Lee and others (1999) ที่พ่นไคโตซานกับใบมะเขือเทศ ที่ความเข้มข้น 100 – 200 $\mu\text{g/ml}$ พบว่ามีการเปิดของปากใบลดลง นอกจากนี้ไคโตซานมีผลทำให้ reactive oxygen species (ROS) เช่น superoxide และ H_2O_2 เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ superoxide และ H_2O_2 จะยับยั้งการเปิดปากใบและกระตุ้นการปิดของปากใบ (McAinsh and others, 1996) นอกจากนี้ไคโตซานยังมีคุณสมบัติยับยั้งการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว จากงานวิจัยของ ทักษมัย ธนไพศาลกิจ (2548) ที่ใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 200, 600, 1000, 1400 และ 1800 ppm ในการควบคุมการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ 3 ชนิด พบว่า การใช้ไคโตซานสามารถชะลอการเจริญทางเส้นใยเชื้อรา *Greeneria* sp., *Gliocephalotrichum* sp., *Lasioidiplodia theobromae* และ *Pestalotiopsis* sp. ได้ซึ่งคาดว่าไคโตซานน่าจะมีผลทำให้เส้นใยของราที่มีการเจริญผิดปกติ มีขนาดเส้นใยเล็กลง (Benhamou, 1992; El Ghaouth and others, 1992) เมื่อพ่นไคโตซานก่อนเก็บเกี่ยวสตรอเบอร์รี่ พบว่า สามารถป้องกันเชื้อ *Botrytis cinerea* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคราสีเทาในสตรอเบอร์รี่ภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ (Reddy and others, 2000) นอกจากนี้มีการใช้ไคโตซานในการลดเชื้อสาเหตุโรคหลังการเก็บเกี่ยวในพืชหลาย ๆ ชนิด เช่น table grapes (Romanazzi and others, 2007) แดงกวา (Ben – Shalom and others, 2003), พริก (Photchanachai and others, 2006) เป็นต้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไคโตซานเป็น elicitor ที่ชักนำให้พืชสร้างระบบภูมิคุ้มกันจากการเข้าทำลายของเชื้อ

2.3 ไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้ไคโตซานในแง่ของการช่วยการเจริญเติบโตของพืชมากขึ้น สุวดี จันทร์กระจ่าง (2543) กล่าวว่า การใช้ไคโตซานใส่ลงในดินจะช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่ดีในดินโดยเพิ่มปริมาณของแอคทิโนมัยซีต (*Actinomycetes*) ทำให้ดินมีสภาพดีขึ้น และไคโตซานมีผลต่อการงอกและคุณภาพของ *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn ‘Kairyoku Wakamurasaki’ (Katsumi and others, 2001) Ohta and others (1999) ศึกษาการเคลือบเมล็ดของ *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*) ด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.1 พบว่า ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต แต่การให้ไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ลงในดินที่ใช้ปลูก พบว่าสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและเร่งการออกดอกให้เร็วขึ้น การแช่เมล็ดทานตะวันในไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุล 28 kDa ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 นาน 18 ชั่วโมง พบว่าเมล็ดทานตะวันมีเปอร์เซ็นต์การงอกและน้ำหนักรวมของรากมากกว่าเมล็ดที่แช่ในน้ำร้อยละ 16 และ 12.9 ตามลำดับ (Chu and others, 2008) Wanichpongpan and others (2001) รายงานว่าไคโตซานทำให้ความยาวของก้านดอก จำนวนใบ ความกว้าง และความยาวใบและจำนวนดอกต่อช่อ *Gerbera jamesonii* เพิ่มขึ้น Nge and others (2006) ได้ศึกษาการใช้ไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งและผนังเซลล์ของเชื้อรา *Congonella butleri* ที่มีขนาดโมเลกุลและความเข้มข้นแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของ Protocorm - like bodies ของกล้วยไม้ *Dendrobium phalaenopsis* ที่เลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารเหลวและอาหารวุ้นสูตร Vacin และ Went (VW) พบว่าการใช้ไคโตซานที่สกัดจากเชื้อราขนาด 1 kDa ทำให้น้ำหนักของ Protocorm สูงกว่าการใช้ไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุล 10 kDa และให้ผลดีกว่าไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้ง ไคโตซาน จากเปลือกกุ้งที่มีขนาดโมเลกุล 1 kDa ความเข้มข้น 20 ppm ทำให้กล้วยไม้ *Dendrobium phalaenopsis* มีการแตกหน่อใหม่สูงที่สุด ส่วนการใช้ไคโตซานในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้สกุลหวาย “เอียสกุล” พบว่าการใช้ไคโตซานในระดับความเข้มข้น 10 และ 20 ppm สามารถกระตุ้นการเพิ่มปริมาณของ Protocorm - like bodies ได้ (Pornpeanpakdee and others, 2006) การพ่นไคโตซานทางใบกับกล้วยไม้สกุลหวาย “เอียสกุล” ทำให้กล้วยไม้เกิดช่อดอกได้เร็วกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน และชักนำให้มีจำนวนช่อดอกต่อต้นและจำนวนดอกต่อช่อเพิ่มขึ้น (Limpanavech and others, 2003) นอกจากนี้ยังมีการใช้ไคโตซานในการปลูกพืชสวนครัว ได้แก่ พริก คะน้า ขึ้นฉ่าย และมะระ มีผลทำให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูงขึ้น (สุวดี จันทร์กระจ่าง และคนอื่นๆ 2546) และ Chandkrachang (2002) รายงานว่าการแช่เมล็ดกะหล่ำ พักทอง แตงกวาและพริกในไคโตซานความเข้มข้น 15 ppm มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสูงกว่าเมล็ดที่แช่ในไคโตซานความเข้มข้น 0, 7.5 และ 30 ppm แต่การพ่นไคโตซานที่ความเข้มข้น 20, 40, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าว (Boonlertnirun and others 2005) การใช้ไคโตซานแบบ polymer มีผลต่อความถี่ของ

การใช้ไนโตรเจนของข้าวและมีแนวโน้มของความสูงของต้น น้ำหนักแห้งของต้นและการดูดซับไนโตรเจนดีกว่าการใช้ไคโตซานแบบ Oligomer (Bersabe and Prasatsrisupab, 2006)

สารไคติน – ไคโตซาน ที่ถูกนำไปใช้ในทางการเกษตรแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

1. ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโพลิเมอร์หรือสายโซ่ยาวของสารไคติน – ไคโตซาน
2. ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโอลิโกเมอร์ของไคติน – ไคโตซานคือ สายโซ่สั้น

การใช้สารไคติน – ไคโตซาน ในทางการเกษตรโดยเฉพาะการกระตุ้นให้พืชตอบสนองและสร้างสารป้องกันตัวเองขึ้นมา หมายถึงการทำหน้าที่เป็นตัวอีลิซิเตอร์ (elicitor) สารไคติน – ไคโตซานที่ถูกนำไปใช้ในทางการเกษตรมีหลายรูปแบบ เช่น การเคลือบ การฉีดพ่นบนพืชเพื่อการดูดซึม ผลการแสดงผลออกถึงประสิทธิภาพของสารไคติน – ไคโตซานที่นำไปใช้ในด้านทางการเกษตรได้แก่

1. ผลของการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่ดีในดิน เพิ่มปริมาณแอคติโนมัยซิส (Actinomycetes) ซึ่งช่วยให้ดินมีสภาพที่ดีขึ้น และขณะเดียวกันก็ลดปริมาณฟิวซาริยม (Fusarium) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเน่าในพืชผักต่าง ๆ ได้ และนอกจากนี้สารไคติน – ไคโตซานยังช่วยเพิ่มปริมาณปมถั่วที่ทำให้เกิดการตรึงไนโตรเจนได้ดีขึ้น

2. เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงในการต่อต้านโรคของพืชและยังใช้สารไคติน – ไคโตซานเคลือบเมล็ดพืชช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราและกระตุ้นการสร้างสารภูมิคุ้มกันแก่เมล็ดพืช (สุวลี จันทร์กระจ่าง 2543)

การใช้สารไคโตซานซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพในรูปของ D – glucosamine ที่ได้จากไคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกกุ้งชักนำไปต้นข้าวด้านทานต่อโรคไหม้ (Area Under Disease Prograss Curve) สาเหตุจากเชื้อรา *Pyricularia grisea* การใช้สารไคโตซาน อัตราความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 mg.ml⁻¹ พ่นต้นข้าวเมื่ออายุได้ 2 สัปดาห์ มีแนวโน้มทำให้การลุกลามพัฒนาของโรคไหม้ลดลง โดยมีพื้นที่ได้เส้นการลุกลามพัฒนาของโรคไหม้เป็น 240.14, 215.80, 193.79 และ 132.78 ตามลำดับ และเมื่อมีการใช้สารละลายไคโตซานกับการปลูกข้าวในสภาพการปลูกข้าวไร่มีผลทำให้พื้นที่ได้เส้นการลุกลามพัฒนาของโรคไหม้ (AUDPC) เป็น 130.25, 100.83, 70.42 และ 50.48 ตามความเข้มข้นของสารละลาย 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 mg.ml⁻¹ ที่พ่นบนต้นข้าวเมื่ออายุได้ 2 สัปดาห์ การใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0 mg.ml⁻¹ ให้ผลดีในการชักนำข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ขาวตาแห้ง 17 และปทุมธานี 60 โดยมีพื้นที่ได้เส้นการลุกลามพัฒนาของโรคไหม้ (AUDPC) เป็น 210.19, 215.25 และ 180.18 ตามลำดับ และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5 – 2.0 mg.ml⁻¹ สามารถชักนำพันธุ์ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1 และสุพรรณบุรี 90 ได้ดีโดยมีค่าพื้นที่ได้เส้นการลุกลามพัฒนาของ

โรคไหม้ (AUDPC) เป็น 75.8 ถึง 36.4 ในพันธุ์ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1 และเป็น 41.75 ถึง 21.25 ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90

การทดลองใช้สารไคติน – ไคโตซานเพื่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชพบว่า ช่วยให้พืชดูดซึมปุ๋ยได้ดีขึ้น ทำให้พืชมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเพิ่มปริมาณของผลผลิตได้ดีขึ้นกว่าที่ไม่ใช้สารไคติน – ไคโตซาน นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองใช้สารไคติน – ไคโตซานในการเพิ่มความต้านทานของโรคน้ำค้างของข้าวโพด โดยพ่นสารไคติน – ไคโตซานความเข้มข้นตั้งแต่ 50, 70 และ 100 ppm มีเปอร์เซ็นต์ของการเป็นโรคน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่พ่นโดยมีความเป็นโรคเพียง 36.11 14.7 และ 30.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดพันธุ์เดียวกันที่ไม่พ่นสารไคติน – ไคโตซาน ซึ่งมีจำนวนการเป็นโรคน้ำค้างถึง 62.85 เปอร์เซ็นต์

3. ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายถึง ปุ๋ยที่มีแหล่งที่มาจากสารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ หรือเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ที่ให้ธาตุอาหารพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที

3.1 การจำแนกประเภทปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีสามารถจำแนกออกได้หลายประเภทในแต่ละหลักการที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่

3.1.1 การจำแนกปุ๋ยเคมีตามความต้องการของธาตุอาหารพืช และตามคุณสมบัติของปุ๋ย ออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก (*primary – element fertilizer*) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุปุ๋ยในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีธาตุปุ๋ยทั้ง 3 ธาตุเป็นองค์ประกอบในรูปของปุ๋ยเดี่ยวที่มีธาตุเดียว หรือปุ๋ยเชิงประกอบที่มีธาตุปุ๋ยนี้ตั้งแต่ 2 ธาตุ หรือปุ๋ยผสมที่มีธาตุปุ๋ยครบ 3 ธาตุซึ่งเป็นปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลักเหล่านี้จะเป็นแม่ปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยผสม

2) ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารรอง (*secondary – element fertilizer*) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารรอง ซึ่งเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยกว่าธาตุอาหารหลัก แต่มีความจำเป็นเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลัก เช่น ปุ๋ยให้ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เป็นต้น

3) ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารเสริม (*minor – element fertilizer*) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารเสริมแก่พืช ซึ่งตามปกติพืชมีความต้องการธาตุอาหารเสริมในปริมาณน้อยมากแต่ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับธาตุอื่น ๆ การใช้ปุ๋ยชนิดนี้จะใช้เมื่อพืชแสดงอาการขาดธาตุ อาจจะเป็นในรูปปุ๋ยผสมกับธาตุอาหารหลัก เป็นปุ๋ยทางดิน หรือปุ๋ยทางใบ ซึ่งเป็นปุ๋ยที่

สังเคราะห์ขึ้นในรูปของปุ๋ยคีเลต (chelate) ได้จากการนำธาตุอาหารพืชเหล่านี้มาทำปฏิกิริยารวมตัวกับสารคีเลตให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที โดยพืชจะดูดไปใช้ทั้งโมเลกุลของคีเลตได้โดยไม่ต้องมีการแตกตัวของสารประกอบ แต่ควรจะใช้ในปริมาณน้อยมาก เพื่อมิให้เกิดการตกค้างรวมตัวเป็นธาตุอื่น และเป็นพิษแก่พืช เช่น ปุ๋ย Fe – EDTA เป็นปุ๋ยที่ให้ธาตุเหล็ก เป็นต้น

3.1.2 การจำแนกปุ๋ยเคมีตามชนิดของธาตุปุ๋ย แบ่งออกเป็น 7 ชนิด ดังนี้

1) ปุ๋ยไนโตรเจน

(1) แอนไฮดรัสแอมโมเนีย (anhydrous ammonia) ได้จากการสังเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจน ภายใต้ความกดดันสูงและเย็นจัด จึงได้ก๊าซแอมโมเนียในรูปของของเหลว สูตรทางเคมีคือ NH_3 มีไนโตรเจนประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ เป็นปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูงที่สุด แอนไฮดรัสแอมโมเนียเป็นก๊าซ แต่จะกลายเป็นของเหลวเมื่อเก็บภายใต้ความดันสูง และต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการอัดหรือฉีดลงไปในดิน หรืออาจผสมกับน้ำชลประทานแบบไหลไปตามผิวดิน แต่ไม่ผสมลงไปในน้ำที่ใช้กับพืชด้วยการพ่นหรือฉีด เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียได้

(2) ยูเรีย (urea) หรือ คาร์บาไมด์ (carbamide) สูตรทางเคมี คือ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ มีไนโตรเจนประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ละลายน้ำได้ดี และดูดความชื้นได้ง่ายมาก แต่ลดการจับตัวเป็นก้อน โดยใช้ผลึกเคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบ เป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่นิยมใช้กันมากที่สุด เมื่อใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในดินจะให้ปฏิกิริยาเป็นกรด และถ้าหว่านบนผิวดินที่ชื้นมีปฏิกิริยาเป็นด่าง และอากาศร้อนอาจสูญเสียไปกับดินได้ง่ายในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ปุ๋ยยูเรียนอกจากใส่ทางดินแล้วสามารถนำมาผสมน้ำฉีดพ่นทางใบให้กับพืชในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นประมาณ 0.5 – 2 เปอร์เซ็นต์ มียูเรียเป็นส่วนผสมที่สำคัญและมีข้อควรระวังคือ ในปุ๋ยยูเรียอาจมีสารไบยูเรต (Biuret) ผสมอยู่ด้วยซึ่งสารนี้เป็นพิษกับพืชอาจทำให้ใบไหม้ได้ อย่างไรก็ตามปุ๋ยยูเรียที่สั่งเข้ามาขายในประเทศ โดยขณะนี้กฎหมายกำหนดให้มีไบยูเรตผสมอยู่ได้ไม่เกิน 1.0 เปอร์เซ็นต์

(3) แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) สูตรทางเคมีคือ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มีไนโตรเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ และมีกำมะถัน (S) ประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลึกสีขาว คล้ายน้ำตาลทรายละลายได้ดีไม่ขึ้นง่ายเนื่องจากดูดความชื้นจากอากาศเพียงเล็กน้อย เมื่อใส่ลงในดินจะให้ปฏิกิริยาเป็นกรด แต่ไม่ควรใช้ร่วมกับสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น ปูน เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีสูญเสียไนโตรเจนในปุ๋ยได้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นปุ๋ยเดี่ยวไนโตรเจนที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย

(4) แอมโมเนียมคลอไรด์ (*ammonium chloride*) สูตรทางเคมีคือ NH_4Cl มีไนโตรเจนประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลึกสีขาวละลายน้ำได้ง่ายและดูดความชื้นได้ดี ปุ๋ยนี้เมื่อใส่ในดินจะให้ปฏิกิริยาเป็นกรดมากกว่าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต

ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตโซดาแอช หรือโรงงานผลิตผงชูรส ปุ๋ยที่ได้จากโรงงานผลิตโซดาแอชจะมีสีขาว ส่วนปุ๋ยที่ได้จากโรงงานผลิตผงชูรสจะมีสีคล้ำยน้ำตาลทรายแดง ปุ๋ยชนิดนี้ไม่นิยมใช้กับยาสูบซึ่งเป็นพืชที่ต้องการคลอรีน (Cl) น้อย เนื่องจากคลอรีนมีผลต่อคุณภาพการติดไฟของใบยาสูบ

(5) แอมโมเนียมไนเตรต (*ammonium nitrate*) มีสูตรทางเคมีคือ NH_4NO_3 มีไนโตรเจนประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ ละลายน้ำได้ดี ดูดความชื้นได้ง่ายมาก ยากต่อการใช้และการเก็บรักษา เมื่อใส่ลงไปดินจะให้ปฏิกิริยาเป็นกรด ใช้เป็นปุ๋ยเดี่ยวและแม่ปุ๋ยในปุ๋ยผสมได้ ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรตสามารถนำไปใช้ทำระเบิดได้ การผสมปุ๋ยชนิดนี้กับกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ก็อาจทำให้ระเบิดได้

(6) โซเดียมไนเตรต (*sodium nitrate*) สูตรทางเคมีคือ NaNO_3 มีไนโตรเจน 16 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลึกสีขาวมัน ไวไฟ ละลายน้ำได้ดีเมื่อใส่ลงในดินจะให้ปฏิกิริยาเป็นด่าง

(7) แคลเซียมไซยาไนด์ (*calcium cyanamide*) มีสูตรทางเคมี คือ CaCN_2 มีไนโตรเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะเป็นผงหรือผลึกสีดำดูดความชื้นน้อย เมื่อใส่ลงไปดินจะละลายน้ำสลายตัวให้ยูเรียมีปฏิกิริยาเป็นด่าง

แคลเซียมไซยาไนด์อาจเป็นพิษต่อพืชได้ เมื่อใส่ลงในดินควรทิ้งไว้ 2 – 3 สัปดาห์ เพื่อให้ปุ๋ยทำปฏิกิริยากับดินอย่างสมบูรณ์เสียก่อนจึงจะปลูกพืช นอกจากจะใช้ทำปุ๋ยแล้วแคลเซียมไซยาไนด์ อาจใช้เป็นสารกำจัดโรคและแมลงได้ แต่แคลเซียมไซยาไนด์เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ เมื่อใช้แล้วควรล้างมือให้สะอาด

(8) แคลเซียมไนเตรต (*calcium nitrate*) สูตรทางเคมีคือ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ มีไนโตรเจนประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และมีแคลเซียม (Ca) ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลึกสีขาวละลายน้ำได้ดี ดูดความชื้นได้ง่ายมากเมื่อใส่ลงในดินให้ปฏิกิริยาเป็นด่าง

2) ปุ๋ยฟอสฟอรัส

(1) หินฟอสเฟต (*phosphate rock*) เป็นหินมีแร่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น ฟลูอออะพาไทต์ (*fluorapatite*) สูตรทางเคมีคือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ หรือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (*hydroxyapatite*) สูตรทางเคมี $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ เป็นต้น มีสีไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสารที่เจือปน และฟอสเฟต (P_2O_5) ที่เป็นองค์ประกอบมีปริมาณไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ หินฟอสเฟตในประเทศไทยมีฟอสเฟต (P_2O_5) เป็นองค์ประกอบประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟต ที่เป็น

ประโยชน์ต่อพืชประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยจะปลดปล่อยฟอสเฟตให้ละลายโดยทั่วไปจะปลดปล่อยฟอสเฟตจนร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) ได้ หินฟอสเฟตจะปลดปล่อยฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาได้ช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในปุ๋ยที่มีฟอสเฟตขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคเม็ดปุ๋ย ถ้ามีขนาดละเอียดจะปลดปล่อยได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามโดยธรรมชาติแล้วหินฟอสเฟตออกมาได้ดีในดินที่เป็นกรด และได้น้อยในดินที่เป็นกรดเพียงเล็กน้อย หรือค่อนข้างเป็นด่าง (ความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 6.0) หินฟอสเฟตนอกจากทำเป็นปุ๋ยใส่ในดินโดยตรงแล้วยังเป็นวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยฟอสเฟตอื่น ๆ อีกหลายชนิด

(2) ออร์ดิเนรีซูเปอร์ฟอสเฟต (*ordinary super – phosphate*) สูตรทางเคมีคือ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ มีฟอสเฟตประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 มีแคลเซียม (Ca) ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และมีกำมะถัน (S) อยู่ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติเป็นกรด (ความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 3) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือน้ำตาลละลายน้ำได้ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์

(3) ซูเปอร์ฟอสเฟตเข้มข้น (*concentrated superphosphate*) นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (*triple superphosphate*) ฟอสฟอรัสในปุ๋ยชนิดนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ปุ๋ยนี้มีฟอสเฟตประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 มีแคลเซียม (Ca) ประมาณ 12 – 16 เปอร์เซ็นต์ และมีกำมะถัน (S) อยู่ประมาณ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ มีสีขาว เทา หรือน้ำตาลละลายน้ำได้ดี

(4) กรดฟอสฟอริก (*phosphoric acid*) สูตรทางเคมีคือ H_3PO_4 เป็นกรดไม่มีสี จะมีฟอสเฟตประมาณ 28 – 30 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 หรือ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต ใช้โดยการฉีดพ่นลงสู่ดินหรือใช้ร่วมกับการให้น้ำในดินที่เป็นด่างหรือดินปูน

(5) กรดซูเปอร์ฟอสฟอริก (*superphosphoric acid*) องค์ประกอบส่วนใหญ่คือ กรดออร์โธฟอสฟอริก (*orthophosphoric acid* สูตรเคมี H_3PO_4) กรดไพโรฟอสฟอริก (*pyrophosphoric acid* สูตรเคมี $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$) และกรดไตรโพลีฟอสฟอริก (*tripolyphosphoric acid* สูตรเคมี $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) จะมีฟอสเฟตอยู่ประมาณ 70 – 76 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 ใช้ในการผลิตปุ๋ยเกล็ดหรือปุ๋ยน้ำ

(6) แคลเซียมเมตาฟอสเฟต (*calcium metaphosphate*) มีชื่อทางการค้าว่า เมตาฟอส (Metaphos) สูตรทางเคมีคือ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ มีฟอสเฟตประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 มีปฏิกิริยาเป็นด่าง ละลายน้ำได้น้อยมากแต่จะละลายได้ดีขึ้นในดินที่เป็นกรด

(7) เบสิกสแลก (*basic slag*) สูตรทางเคมีคือ $(\text{CaO})_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$ เป็นผลพลอยได้จากโรงงานถลุงเหล็ก อาจมีฟอสเฟตตั้งแต่ 3 – 20 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 ขึ้นอยู่กับแหล่งผลิต มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแคลเซียมคาร์บอเนตอิกวิวาเลนซ์ (*calcium carbonate equivalent*) ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้จะมีธาตุเหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) และ

แมงกานีสปนอยู่ด้วย เป็นผงหรือผลึกสีดำ มักใช้เป็นปุ๋ยและปูนในเวลาเดียวกัน ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดปุ๋ยซึ่งควรจะมีขนาดเล็กและเป็นปุ๋ยที่เคลื่อนที่ได้ยาก ดังนั้นเวลาใส่ในดินคลุกเคล้าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับดิน

(8) แอมโมเนียมฟอสเฟต (*ammonium phosphate*) เป็นปุ๋ยที่ให้ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเวลาเดียวกัน ปุ๋ยชนิดนี้จะละลายได้ดี ไม่ชื้นง่าย เม็ดปุ๋ยมีความแข็งแรงไม่แตกง่าย จึงสะดวกในการใช้และเก็บรักษา ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตมี 3 ชนิด

ก) โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (*monoammonium phosphate*) สูตรทางเคมีคือ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ นิยมเรียกกันทั่วไปว่าแมพ (MAP) มีไนโตรเจน 18 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟต 46 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 มีปฏิกิริยาเป็นกรด มีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 4.6 เป็นแม่ปุ๋ยที่นิยมใช้ในการทำปุ๋ยผสมอื่น ๆ

ข) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (*diammonium phosphate*) สูตรทางเคมีคือ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่าแดพ (DAP) มีไนโตรเจน 18 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟต 46 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 มีปฏิกิริยาเป็นด่าง ความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7.3 หรือสูงกว่า เป็นแม่ปุ๋ยที่นิยมใช้ในการทำปุ๋ยผสมอื่น ๆ

ค) แอมโมฟอส (*ammophos*) เป็นปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียมกับกรดฟอสฟอริก และกรดกำมะถันผสมกัน ซึ่งจะได้สาร 2 ชนิด คือ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) ผสมกับแอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) มีไนโตรเจน 16 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟต 20 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 ปุ๋ยที่ได้มีเกรด หรือสูตร 16 – 20 – 0

3) ปุ๋ยโพแทสเซียม

(1) โพแทสเซียมคลอไรด์ (*potassium chloride*) หรือมิวรีเอทออฟโพแทช (*muriate of potash*) สูตรทางเคมีคือ KCl มีโพแทสเซียมประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ K_2O มีลักษณะคล้ายเกลือแกง (NaCl) การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ ควรพิจารณาถึงความต้องการและความทนทานต่อพิษของคลอรีนของพืช พืชบางชนิดทนทานต่อพิษของคลอรีนได้สูง เช่น มะเขือเทศ และผักกาดหัว เป็นต้น แต่พืชบางชนิด เช่น ยาสูบ ไม่ทนทานต่อพิษจากคลอรีน

(2) โพแทสเซียมซัลเฟต (*potassium sulphate*) สูตรทางเคมีคือ K_2SO_4 มีโพแทสเซียมประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ K_2O มีสีขาวขุ่นละลายน้ำได้น้อยกว่าโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นปุ๋ยที่มีราคาแพงกว่าปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ จึงนิยมใช้ร่วมกันระหว่างปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ และปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต

(3) โพแทสเซียม แมกนีเซียมซัลเฟต (*potassium magnesium sulphate*)

สูตรเคมี คือ $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ มีโพแทสเซียมอยู่ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ K_2O และมีแมกนีเซียมประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ Mg

(4) โพแทสเซียมไนเตรต (*potassium nitrate*) มีสูตรเคมีดังนี้ KNO_3 ปุ๋ย

ชนิดนี้ให้ไนโตรเจนประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ และให้โพแทสเซียมประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์ K_2O

(5) โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (*monopotassium phosphate*) สูตรเคมี คือ

KH_2PO_4 ปุ๋ยชนิดนี้มีฟอสเฟตประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 และโพแทสเซียมประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ K_2O

4) ปุ๋ยกำมะถัน (*sulfur*)

แม้ว่ากำมะถัน (S) จะเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก แต่ดินส่วนใหญ่ของประเทศไทยไม่พบว่ามีปัญหาในการขาดธาตุนี้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าดินมีกำมะถันอยู่มาก และในการใช้ปุ๋ยเพื่อให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแก่พืช มักจะมีกำมะถันในปุ๋ยเหล่านั้นอยู่แล้ว ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการใช้ปุ๋ยกำมะถันมีดังนี้

(1) แอมโมเนียมซัลเฟต (*ammonium sulfate*) สูตรเคมี $(NH_4)_2SO_4$ มีไนโตรเจน

ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ และมีกำมะถันประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ S

(2) โพแทสเซียมซัลเฟต (*potassium sulfate*) สูตรทางเคมี K_2SO_4 มีโพแทสเซียม

ประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ K_2O และมีกำมะถันประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ S

(3) ยิปซัม หรือแคลเซียมซัลเฟต (*gypsum or Calcium sulfate*) สูตรเคมี

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ มีกำมะถันประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ S มีแคลเซียมประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ Ca

(4) กำมะถัน (*sulfur*) สูตรทางเคมี S ได้จากการทำเหมืองแร่กำมะถัน และ

นำมาบดให้เป็นผง

5) ปุ๋ยแคลเซียม

(1) แคลเซียมคาร์บอเนต (*calcium carbonate*) สูตรเคมี คือ $CaCO_3$ มีแคลเซียม

ประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์ Ca

(2) แคลเซียมออกไซด์ (*calcium oxide*) สูตรเคมี คือ CaO มีแคลเซียม

ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ Ca

(3) ปูนขาว หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (*calcium hydroxide*) สูตรเคมี

$Ca(OH)_2$ มีแคลเซียมประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ Ca

(4) หินโดโลไมต์ (*dolomite*) สูตรเคมี คือ $CaMg(CO_3)_2$ มีแคลเซียมประมาณ

17 เปอร์เซ็นต์ Ca

(5)เบสิกสแล็ก (basic slag) สูตรเคมี คือ $(\text{CaO})_5\text{P}_2\text{O}_5\text{SiO}_2$ มีแคลเซียมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ Ca

(6) หินฟอสเฟต (phosphate rock) สูตรเคมี คือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO})_6\text{F}_2$ มีแคลเซียมประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ Ca

(7)แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) สูตรเคมี คือ $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หรือเรียกว่า ยิปซัม (Gypsum) มีแคลเซียมอยู่ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ Ca

6) ปุ๋ยแมกนีเซียม

(1) แมกนีเซียม หรือ แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium of magnesium oxide) สูตรเคมี MgO มีแมกนีเซียมประมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ Mg

(2) หิน โค โล ไมต์ (dolomite) สูตรเคมี คือ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ มีแมกนีเซียมประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ Mg

(3) ดีเกิลิโอ หรือแมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate) หรือที่เรียกว่า เกเซอไรต์ (Kiesirite) สูตรเคมี คือ $\text{MgSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ มีแมกนีเซียมประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ Mg

7) ปุ๋ยธาตุอาหารเสริม (micronutrient fertilizer)

ตามที่ทราบกันดีแล้วว่าธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุนั้น พืชต้องการในปริมาณที่น้อยและโดยทั่วไปดินมักจะมีธาตุเหล่านี้อยู่เพียงพอ ดังนั้นจึงมีการใช้ปุ๋ยธาตุอาหารเสริมไม่มากนัก เนื่องจากโดยปกติแล้วการที่พืชได้รับธาตุอาหารเสริมไม่เพียงพอนั้น เนื่องจากดินมีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสม ธาตุอาหารเสริมที่มีอยู่จึงไม่สามารถละลายออกมาให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยลงไปธาตุอาหารเสริมเหล่านี้ควรจะถูกละลายให้อยู่ในรูปของคีเลต (chelate) สารคีเลตเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถยึดธาตุที่มีประจุไฟฟ้าบวกเอาไว้ในโครงสร้างทำให้ธาตุเหล่านั้นไม่สามารถไปทำปฏิกิริยากับสารอื่นในดินได้อีก เมื่อใส่ลงไปดินจึงยังคงเป็นประโยชน์ต่อพืชเพราะธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของคีเลตนั้น พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารคีเลตมีหลายชนิด เช่น อีดีทีเอ (EDTA) ดีทีพีเอ (DTPA) เฮชอีดีทีเอ (HEDTA) เป็นต้น สำหรับอีดีทีเอนั้นนับว่าเป็นสารที่นิยมใช้กันมากที่สุด ปุ๋ยธาตุอาหารเสริมที่อยู่ในรูปของคีเลต ได้แก่ เหล็กคีเลต (iron chelate) แมงกานีสคีเลต (manganese chelate) สังกะสีคีเลต (Zinc chelate) ทองแดงคีเลต (copper chelate) สำหรับปริมาณธาตุอาหารเสริมในคีเลตแต่ละชนิดก็แตกต่างกัน

3.1.3 การจำแนกประเภทของปุ๋ยเคมีตามหลักลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยเคมี

จำแนกปุ๋ยเคมีออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

1) ปุ๋ยเคมีในรูปของแข็ง ปุ๋ยเคมีในรูปของแข็งที่มีการผลิตใช้กันในปัจจุบันอาจจำแนกตามลักษณะทางกายภาพออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

(1) *ปุยผง (powder)* คือ ปุยเคมีในรูปของแข็งที่เม็ดปุยแต่ละเม็ดอยู่ในรูปผงละเอียดที่ได้จากการบดโดยเครื่องและร่อนขนาดโดยตะแกรงร่อน เพื่อให้ได้เม็ดปุยตามขนาดและสัดส่วนที่ต้องการ หรืออาจเป็นปุยผสมที่นำแม่ปุย 2 ชนิดมาบดผสมกันแบบเชิงกล โดยไม่ผ่านปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การนำปุยหินฟอสเฟตบดรวมกับยูเรีย เช่น ปุยหินฟอสเฟตสูตร 0-3-0 มีธาตุอาหารเสริม ได้แก่ สูตร $4-16-24+4\text{ MgO}+0.5\text{ B}$ และสูตร $6-18-24+4\text{ MgO}+0.5\text{ B}$

(2) *ปุยเกล็ด (crystal)* คือ ปุยเคมีอยู่ในรูปปุยเดี่ยว และปุยผสมที่มีความบริสุทธิ์สูงและละลายน้ำได้หมดโดยไม่มีตะกอนในรูปปุยเดี่ยวส่วนใหญ่เม็ดปุยแต่ละเม็ดอยู่ในรูปผลึกเดิมที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยอาจมีหรือไม่มีการบดหรือแปรขนาดอีกก็ได้ ยกตัวอย่าง เช่น ปุยแอมโมเนียมซัลเฟต และปุยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความบริสุทธิ์สูงที่ผลิตโดยกระบวนการตกตะกอนตามลำดับส่วน (fractional recrystallization process) สำหรับปุยเกล็ดในรูปปุยผสมนั้น ได้แก่ ปุยที่มีสูตรและความบริสุทธิ์ที่ได้จากการนำแม่ปุยชนิดต่าง ๆ ที่ลักษณะเม็ดปุยเดิมอาจอยู่ในรูปผลึกปุยเม็ด หรือปุยอัดเม็ด มาบดใหม่ให้มีขนาดใกล้เคียงกันก่อนหรือหลังการผสม เป็นการผลิตปุยสูตรสูงสำหรับใช้กับพืชโดยทางใบจึงทำให้ปุยประเภทนี้มีราคาแพงเมื่อเทียบกับปุยที่ใช้ทางดิน

(3) *ปุยเม็ด (granular)* คือ ปุยที่เม็ดปุยแต่ละเม็ดได้จากการปั้นเม็ดโดยเครื่องปั้นเม็ดประเภทต่างๆ เช่น เครื่องปั้นเม็ดแบบจาน (pan granulator) แบบท้อ (drum granulator) ปุยเม็ดอาจอยู่ในรูปปุยเดี่ยว เช่น ปุยยูเรียและปุยเม็ดในรูปปุยผสม ปุยเม็ดจัดได้ว่าเป็นปุยเคมีที่มีการผลิตใช้กันมากที่สุด ข้อดีของปุยเม็ด คือ ปุยเป็นเนื้อเดียวกันแต่ละเม็ดปุยมีองค์ประกอบของธาตุปุยเหมือนกัน เช่น ปุยผสมสำหรับข้าวสูตร 18-12-6, 16-12-8, 16-16-8 ปุยพืชไร่และไม้ผล เช่น สูตร 15-15-15, 9-24-24 เป็นต้น

2) *ปุยเคมีในรูปของเหลวหรือปุยน้ำ* ปุยเคมีในรูปของเหลวหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “ปุยน้ำ” ได้แก่ปุยที่อาจจำแนกประเภทตามสภาพทางกายภาพได้ดังนี้ คือ

(1) *ปุยสารละลาย (solution type)* หมายถึง ปุยที่แม่ปุยคือ ตัวถูกละลาย (solute) ถูกตัวทำละลาย (Solvent) คือ น้ำละลายจนหมดโดยทั่ว ๆ ไปปุยจะอยู่ในรูปสารละลายชนิดใสที่ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอยปะปนอยู่ ได้แก่ ปุยสารละลายไนโตรเจน (nitrogen solution) เช่น ปุยยูเรีย แอมโมเนียไนเตรด เป็นต้น

(2) *ปุยสารละลายแขวนลอย (suspension type)* หมายถึง ปุยที่บางส่วนของแม่ปุยอยู่ในสารละลาย และบางส่วนอยู่ในรูปอนุภาคสารแขวนลอยที่ไม่ละลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุบางธาตุในสูตร เช่น การเพิ่มปริมาณธาตุโพแทสเซียมในสูตรปุยน้ำให้สูงขึ้นเป็นกรณีพิเศษ โดยให้บางส่วนของแม่ปุยโพแทสเซียมบางชนิดที่มีสมบัติละลายน้ำได้น้อยกว่าแม่ปุยในโตรเจน และฟอสฟอรัสผสมอยู่ในรูปสารแขวนลอย

(3) *ปุ๋ยน้ำในรูปก๊าซ (gaseous type)* หมายถึงปุ๋ยที่อยู่ในรูปก๊าซแต่ถูกอัดด้วยความดันสูง หรือถูกควบคุมด้วยระดับอุณหภูมิหนึ่งจนกลายเป็นของเหลวที่ไม่มีน้ำปนอยู่ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรตที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 82 ปุ๋ยในรูปนี้เป็นก๊าซแอมโมเนียมที่ถูกอัดและหรือควบคุมระดับอุณหภูมิจนเกิดการรวมตัวกันจนทำให้มวลมีสภาพคล้ายของเหลว

3.1.4 การจำแนกปุ๋ยเคมีตามความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

ปุ๋ยเคมีส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบที่สามารถละลาย และปลดปล่อยธาตุอาหารพืชเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที เช่น ปุ๋ยไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรตและแอมโมเนียม แต่มีปุ๋ยเคมีบางชนิดที่มีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชได้ในปริมาณน้อย หรือในการผลิตปุ๋ยเคมีได้มีการควบคุมการปลดปล่อยหรือการละลายโดยกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อป้องกันการสัมผัสระหว่างปุ๋ยกับน้ำในดิน ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้มีการละลายหรือปลดปล่อยธาตุอาหารพืชน้อยลง และเพื่อลดการสูญเสียปุ๋ยเคมีที่ไล่ลงสู่ดินอันเนื่องมาจากกระบวนการชะล้าง หรือการตรึงธาตุอาหาร เป็นต้น ดังนั้นการพิจารณาประเภทปุ๋ยเคมี โดยใช้หลักเกณฑ์ความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชให้แก่พืชได้ 3 ประเภท คือ

1) *ปุ๋ยละลายเร็ว* เป็นปุ๋ยที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดี พืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที และในปริมาณไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใส่ปุ๋ยลงดิน เช่น ปุ๋ยที่อยู่ในรูปปุ๋ยเม็ด สูตร 15 - 15 - 15, 13 - 13 - 21 และ 12 - 24 - 12 เป็นต้น และปุ๋ยที่อยู่ในรูปปุ๋ยเกล็ด และปุ๋ยผงจะละลายน้ำได้ดี สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยทางใบฉีดพ่นแก่พืชได้ เช่น ปุ๋ยเกล็ดสูตร 16 - 20 - 0, 10 - 50 - 10 และ 10 - 20 - 30 เป็นต้น

2) *ปุ๋ยกึ่งละลายช้าละลายเร็ว* เป็นปุ๋ยเคมีที่มีเนื้อปุ๋ยบางส่วนละลายน้ำได้ดี และบางส่วนละลายน้ำได้ยาก เช่น ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งมีสัดส่วนของเนื้อปุ๋ยที่ละลายในน้ำได้ดีมากกว่าปุ๋ยฟอสเฟตที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ยาก โดยมีการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตในรูปโพลีฟอสเฟตที่เกิดจากการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดกำมะถัน ในปริมาณสมมูลที่เพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยากับสารประกอบแคลเซียมไตรฟอสเฟตในหินฟอสเฟตแต่เพียงบางส่วน ปุ๋ยฟอสเฟตประเภทนี้จะมีหรือเรียกตามกรรมวิธีการผลิตว่า partial acidulation phosphate rock (PAPR) มีสูตร 0 - 15 - 0

3) **ปุ๋ยละลายช้า** เป็นปุ๋ยเคมีที่ละลายน้ำได้อย่างช้า และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างช้าๆ เช่นกัน มีการแบ่งปุ๋ยละลายช้าออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) **ปุ๋ยละลายช้าตามธรรมชาติ** จะเป็นปุ๋ยที่ปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้า ๆ ตามสมบัติของปุ๋ย ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดปุ๋ยและสมบัติของดิน เช่น ระดับความชื้นในดิน อุณหภูมิดิน ปฏิกริยาดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ปุ๋ยละลายช้ามีหลายชนิด ดังนี้คือ

ก) **ปุ๋ยยูเรียฟอรัม (urea form)** เป็นปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์ที่ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยมีขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่จะช่วยในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

ข) **ปุ๋ยไอโซบิวทิลิดีน (isobutylidene diurea)** มีชื่อย่อว่า IBDU เป็นปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกริยาทางเคมี ระหว่างยูเรียกับสารไอโซบิวทิลัลดีไฮด์ (Isobutyraldehyde) โดยมีไนโตรเจนประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

ค) **ปุ๋ยผสมที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต (magnesium ammonium phosphate)** และมีชื่อทางการค้าว่า Mag Amp มีสูตร 8 – 40 – 0 – 14 (Mg) หรือ Mag AmP with K 7 – 40 – 6 – 12 (Mg) ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเม็ดปุ๋ยและบทบาทของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

ง) **ปุ๋ยหินฟอสเฟต** เป็นปุ๋ยเคมีสังเคราะห์ที่ละลายน้ำได้น้อยมาก โดยละลายได้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยชนิดนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรด และขนาดของอนุภาคปุ๋ย

(2) **ปุ๋ยเคมีที่ผลิตโดยกรรมวิธีการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช** เป็นปุ๋ยเคมีที่ผ่านกรรมวิธีโดยการเคลือบเม็ดปุ๋ยด้วยสารเคลือบที่ไม่ละลายน้ำ หรือน้ำซึมผ่านเข้าไม่ได้ จะต้องรอให้สารเคลือบที่หุ้มเม็ดปุ๋ยนั้นอ่อนตัวหรือสลายตัวก่อน เนื้อปุ๋ยจึงสามารถละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ สารที่ใช้ในการเคลือบมีหลายประเภท เช่น สารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปสารโพลีเมอร์ในกลุ่มเรซิน (resin) เม็ดปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารนี้เมื่อสัมผัสกับน้ำในดิน น้ำในดินจะค่อย ๆ ซึมผ่านเปลือกที่หุ้มเม็ดปุ๋ย และละลายปุ๋ยนั้นเป็นสารละลายของเกลือที่เข้มข้นภายในเปลือกที่หุ้มเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ดทำให้เกิดความดันออสโมซิส (osmotic pressure) ขึ้นภายใน และมีผลทำให้เปลือกหรือสารเคลือบนั้นแตกร้าว เนื้อปุ๋ยค่อย ๆ ละลายออกสู่ดินอย่างต่อเนื่องและเป็นระยะเวลานาน ปุ๋ยเคมีประเภทนี้ ได้แก่ ปุ๋ยออสโมคอสสูตรต่าง ๆ นอกจากนี้สารเคลือบที่ใช้เคลือบเม็ดมีหลายชนิด เช่น จีฟี่ กำมะถัน และโพลีเอทิลีน เป็นต้น

กรรมวิธีการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอีกวิธีหนึ่งคือ การหยุดยั้งหรือชะลอการแปรรูปไนโตรเจน โดยป้องกันมิให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะใช้สาร nitrification inhibitor ได้แก่ N – Serve หรือ 2 – Chloro – 6 (trichloromethyl) Pyridine Dicyanoclamide, Cyano – quinidine เป็นต้น วิธีการนี้เป็นการทำให้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ไนโตรเจน ($\text{NH}_4 - \text{N}$) ไม่ถูกออกซิไดส์ไปเป็นไนเตรต – ไนโตรเจน ($\text{NO}_3 - \text{N}$) ปุ๋ยนี้จะถูกดูดซึมไว้ที่คอลลอยด์ได้นานขึ้น ไม่ถูกชะล้างได้ง่าย (มุกดา สุขสวัสดิ์ 2547)

3.2 สมบัติที่สำคัญบางประการของปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน การพิจารณาการใช้ปุ๋ยแต่ละชนิดเพื่อให้มีความเหมาะสม กับวัตถุประสงค์ในการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ควรทราบถึงสมบัติบางประการของปุ๋ย ซึ่งมีดังนี้

3.2.1 การเปียกชื้นของปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีชนิดของแข็งแต่ละชนิดที่บรรจุลงจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไปเป็นปุ๋ยที่อยู่ในสภาพแห้ง มีความชื้นประมาณ 1 – 3 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีการจับตัวเป็นก้อนแข็งในขณะที่เก็บรักษาและนำไปใช้ประโยชน์ ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดต่างมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศ เรียกว่าการเปียกชื้น กล่าวคือ ปุ๋ยเคมีเมื่อทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้นสูงโดยไม่มีภาชนะปกปิด ปุ๋ยจะดูดความชื้นจากอากาศเข้ามาจนกระทั่งปุ๋ยชื้น ปุ๋ยบางชนิดจะเปียกและกลายเป็นน้ำ ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติเฉพาะ (critical relative humidity) ซึ่งหมายความว่า ปุ๋ยจะดูดความชื้นจากอากาศเข้ามาในตัวปุ๋ย เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติ แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศต่ำกว่าค่าดังกล่าว ปุ๋ยจะไม่ดูดความชื้นในบรรยากาศเข้ามา ปุ๋ยจะแห้งเป็นปกติ ดังนั้นปุ๋ยที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติต่ำ ปุ๋ยจะขึ้นง่ายมีผลทำให้เปียกและและเมื่อปุ๋ยแข็งตัวก็จะจับกันเป็นก้อน ในการนำปุ๋ยสองชนิดมาผสมกันและมักจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติต่ำกว่าแม่ปุ๋ยเดิม เช่น เดิมแม่ปุ๋ยยูเรียโพแทสเซียมไนเตรต มีความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติสูงสุด 72.5 และ 90.5 ตามลำดับ แต่ถ้านำแม่ปุ๋ยทั้งสองชนิดมาผสมกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติจะลดลงเหลือเพียง 65.2 เท่านั้น ซึ่งหมายความว่า ความชื้นจากอากาศจะถูกดูดเข้าไปในปุ๋ยผสมง่ายขึ้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติของปุ๋ยจะเปลี่ยนไปได้ตามระดับอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นจึงได้กำหนดค่าวิกฤติที่ 30 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นค่าวิกฤตินี้จะลดลง ซึ่งหมายความว่าปุ๋ยจะขึ้นง่ายขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิต่ำลง ค่าวิกฤติจะสูงขึ้น ปุ๋ยก็จะไม่ดูดความชื้นจากอากาศ มีสภาพแห้งเป็นปกติ

3.2.2 การจับตัวเป็นก้อนแข็งของปุ๋ยเคมี (caking)

การจับตัวกันเป็นก้อนแข็งของปุ๋ยเคมี เกิดจากการที่ปุ๋ยแต่ละเม็ดหรืออนุภาคเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนที่มีขนาดต่าง ๆ หรือมีขนาดใหญ่ขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ไม่ว่าจะเป็น การเก็บรักษาในรูปปุ๋ยเทกองหรือปุ๋ยถุงแต่ส่วนมากมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการเก็บรักษาในรูปปุ๋ยเทกอง และปุ๋ยถุงที่มีการเปิดถุงเพื่อใช้ปุ๋ย และมีปุ๋ยบางส่วนเหลือตกค้างอยู่เป็นเวลานาน ปุ๋ยที่มีการจับตัวกันเป็นก้อน อาจจะมี ความแน่นแข็งมากน้อยแตกต่างกันไปตั้งแต่การจับตัวกันเป็นก้อนอย่างหลวม ๆ ที่สามารถบีบให้แตกได้ดีด้วยมือ หรือมีความแน่นแข็งขนาดต้องใช้ค้อนทุบ หรือใช้เครื่องบดปุ๋ยช่วย โดยทั่วไปปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนแข็งของปุ๋ยเคมี คือ

- 1) การเกิดการตกผลึกแข็งตัวขึ้นใหม่ของสารระเหยเข้มข้น ณ ตรงจุดสัมผัสระหว่างเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ด ซึ่งขึ้นกับการเปียกชื้นของปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดในการดูดความชื้นจากอากาศ รวมทั้งความแปรปรวนของความชื้นในอากาศในแต่ละวันและฤดูกาล ปุ๋ยที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตต่ำจะจับตัวเป็นก้อนแข็งง่ายกว่าปุ๋ยที่มีค่าวิกฤตที่สูงกว่า
- 2) ความดันหรือน้ำหนักการกดทับของปุ๋ยเคมีที่มีการเก็บรักษาในกระสอบ โดยการวางตั้งซ้อนกันมาก ๆ ทำให้จุดหรือพื้นผิวสัมผัสระหว่างเม็ดปุ๋ยมีมากขึ้นจึงมีปริมาตรช่องว่างรวมลดลง และทำให้ช่องว่างในแต่ละกองหรือกระสอบปุ๋ยมีความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้น นอกจากนั้นถ้าเม็ดปุ๋ยบางส่วนเกิดการแตกร้าว และทำให้มีพื้นผิวสัมผัสและความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้มากยิ่งขึ้นด้วย ควรจัดซื้อปุ๋ยเคมีในปริมาณที่ไม่มากนักและนำไปใช้หมดโดยเร็วเป็นดีที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยเคมีชนิดผงหรือปุ๋ยเชิงเดี่ยวในโตรเจน เช่น แอมโมเนียมซัลเฟตหรือยูเรีย
- 3) ระยะเวลาการเก็บรักษา เก็บรักษาปุ๋ยไว้นานก็จะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนแข็งมากขึ้น เช่น ในระยะ 10 วันแรก การผลิตปุ๋ยเคมีชนิดที่กรรมวิธีการผลิตไม่มีการผสมสารต้านทานการเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง หรือการใช้สารบางอย่างเคลือบเม็ดไม่ควรเก็บปุ๋ยไว้นานกว่า 10 วัน หลังการผลิต เป็นต้น
- 4) ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขนาดรูปร่างของเม็ดหรืออนุภาคปุ๋ย องค์ประกอบของตัวปุ๋ย เช่น ชนิดแม่ปุ๋ยที่ใช้ ระดับอุณหภูมิของอากาศและความชื้นของปุ๋ยที่ผลิตออกมาใหม่ ๆ เหล่านี้มีผลต่อการเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนแข็งของปุ๋ยเคมีได้ทั้งสิ้น

3.2.3 ดัชนีความเค็ม (salt index)

ดัชนีความเค็มของปุ๋ยเคมี หมายถึง สมบัติเฉพาะตัวของปุ๋ยเคมี เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วทำให้สารละลายในดิน มีความเข้มข้นที่จะทำให้เกิดความดันแบบออสโมซิส (osmotic pressure) สูงและจะดึงดูดความชื้นไปจากดินและพืช ซึ่งทำให้พืชเหี่ยวและแห้งได้ ตามปกติในการประเมินหรือวัดค่าดัชนีความเค็มของปุ๋ยเคมีนั้นจะใช้เปรียบเทียบกับความเค็มของเกลือโซเดียม

ไนเตรต (NaNO_3) โดยกำหนดให้เกลือโซเดียมไนเตรตที่มีน้ำหนักเท่า ๆ กับปุ๋ยเคมี มีค่าดัชนีความเต็มเท่ากับ 100 ตัวอย่างค่าดัชนีความเต็มของปุ๋ยชนิดต่าง ๆ สำหรับปุ๋ยที่มีค่าดัชนีความเต็มสูงไม่ควรใส่ใกล้ต้นกล้าหรือเมล็ดพืชมากเกินไป แต่ครั้งไม่ควรใส่ในปริมาณมากเกินไปหรือใส่ในขณะที่ดินแห้งหรือมีความชื้นต่ำ เพราะจะทำให้เมล็ดพืชหรือต้นกล้าเกิดการขาดน้ำมากยิ่งขึ้น

3.2.4 ความถ่วงจำเพาะของปุ๋ยเคมี (apparent specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะของปุ๋ยเคมีชนิดของแข็ง หมายถึง ค่าที่ได้จากการใช้น้ำหนักปุ๋ยหารด้วยน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาฟาเรนไฮต์ โดยมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความถ่วงจำเพาะของปุ๋ยเคมีจะมีความสำคัญในการพิจารณาปริมาณการใส่ปุ๋ยโดยเครื่องจักร เช่น เครื่องหว่านปุ๋ย ทั้งนี้เพราะในการปรับเครื่องเพื่อกำหนดอัตราการหว่านปุ๋ยนั้น จะประเมินจากปริมาตรของปุ๋ย หรือจากค่าความถ่วงจำเพาะของปุ๋ยเคมี และมีประโยชน์ต่อการพิจารณาการแยกตัวของเม็ดปุ๋ย ในปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้า (bulk blending fertilizer) โดยทั่วไปปุ๋ยเคมีชนิดต่าง ๆ มีค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเม็ดปุ๋ย ความชื้นของปุ๋ย เช่น ปุ๋ยยูเรีย มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำคือ ประมาณ 1.22 ในขณะที่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่า 2.12 ซึ่งหมายความว่า ถ้าจะมีการใส่ปุ๋ยเคมีทั้งสองชนิดในอัตราต่อพื้นที่เท่า ๆ กัน เช่น 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใช้เครื่องหว่านปุ๋ยชนิดเดียวกันการกำหนดอัตราการหว่านปุ๋ยยูเรียออกจากเครื่องหว่าน จะต้องหว่านอัตราต่อหน่วยเวลาที่เร็วกว่าปุ๋ย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต เป็นต้น

3.2.5 ความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยเคมี (physiological acidity and basicity of fertilizers)

ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เมื่อนำไปใส่ในดินจะเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้ปฏิกิริยาดิน หรือความเป็นกรดเป็นด่างของดินเดิมเปลี่ยนแปลงไป ปุ๋ยเคมีบางชนิดมีผลทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น บางชนิดทำให้เป็นด่างมากขึ้น ปุ๋ยเคมีที่มีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรดได้มาก เกิดจากอนุมูลองค์ประกอบในปุ๋ยเป็นอนุมูลกรด เช่น SO_4 ในอัตราสูงและเกิดการแปรรูปของอนุมูลโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระบวนการตรึงไนโตรเจน ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมซัลเฟต ส่วนปุ๋ยที่มีผลตกค้างทำให้ดินเป็นด่าง ได้แก่ ปุ๋ยที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ปุ๋ยแคลเซียมไนเตรต หรือปุ๋ยผสมที่มีการนำวัสดุปูน เช่น หินปูนหรือโดโลไมท์นำมาผสมร่วมด้วยเป็นสารตัวเติม (filler) ส่วนปุ๋ยที่ไม่มีผลตกค้างเป็นกรดหรือเป็นด่างในดิน ได้แก่ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซัลเฟต ซูเปอร์ฟอสเฟต เป็นต้น (มุกดา สุขสวัสดิ์ 2547)

3.3 วิธีการใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ย หมายถึง วิธีการให้ธาตุอาหารแก่พืชในส่วนที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชที่ได้จากดิน และเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ วิธีการใส่ปุ๋ยที่ถูกต้อง ควรเลือกใช้วิธีการที่ถูกหลักทางเศรษฐกิจ และมีประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการในการพิจารณาการใส่ปุ๋ย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นนั้นจะมีปัจจัยร่วมในการใช้ปุ๋ย 4 ปัจจัย ดังนี้คือ

3.3.1 การเลือกใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมกับพืชที่ปลูก

การเลือกใส่ปุ๋ยสูตรต่าง ๆ จะต้องพิจารณาความต้องการธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิด รูปของธาตุอาหารในปุ๋ย และปริมาณของธาตุอาหารพืชเพื่อที่จะทราบสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมต่อความต้องการของพืช เช่น พืชผักที่มีการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น จะมีความต้องการธาตุไนโตรเจนสูง ก็ควรจะใส่ปุ๋ยที่มีสูตรปุ๋ยหรือสัดส่วนปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนสูง และเลือกใส่ปุ๋ยเคมีที่มีสัดส่วนปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนสูง การเลือกใส่ปุ๋ยเคมีที่มีสัดส่วนของธาตุใดสูงจะเป็นการช่วยปรับระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และเพื่อเกิดประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ย

3.3.2 ใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม

การใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้รับผลผลิตสูง โดยที่ไม่มีผลตกค้างหรือมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และจะต้องคำนึงต่อการลงทุนในการใช้ปุ๋ยนั้น ทั้งนี้จะต้องพิจารณาพร้อมกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น พันธุ์พืช สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน วิธีการปลูก และสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้มีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ย

3.3.3 ใช้ปุ๋ยในระยะเวลาที่เหมาะสม

ความต้องการธาตุอาหารของพืชจะแตกต่างกันในแต่ละช่วงระยะเวลาเจริญเติบโตของพืช โดยทั่วไปพืชจะมีระยะการเจริญเติบโตอยู่ 3 ระยะ ดังนี้ คือ

1) ระยะแรกของการเจริญเติบโต ในระยะ 30 – 45 วัน ต้นอ่อนและใบอ่อน จะมีความต้องการธาตุอาหารไม่มากนัก

2) ระยะที่พืชเจริญเติบโตทางลำต้น กิ่งก้าน ใบ และสร้างตาดอก ระยะนี้เป็นระยะที่พืชเจริญเติบโตรวดเร็ว และมีความต้องการธาตุอาหารพืชสูง ดังนั้น ควรมีการแบ่งใส่ปุ๋ยเป็นปุ๋ยรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้า

3) ระยะที่พืชมีการเจริญเติบโตในด้านผลผลิต สร้างผลและเมล็ดเป็นระยะที่พืชมีความต้องการธาตุอาหารลดลง ซึ่งอาจจะมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มคุณภาพเมล็ดในพืชบางชนิดเท่านั้น

ดังนั้น การใส่ปุ๋ยในระยะเวลาที่เหมาะสมกับความต้องการของพืชจะทำให้มีการใช้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.3.4 ตำแหน่งในการใส่ปุ๋ย ที่พืชนำธาตุอาหารพืชไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปดินจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อละลายและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาในรูปต่าง ๆ และมีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีในดินแตกต่างกัน การให้ประโยชน์ธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อพืชสามารถนำธาตุอาหารมาใช้ได้ เช่น การใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ควรพิจารณาตำแหน่งการใส่ปุ๋ย เนื่องจากธาตุฟอสเฟตจะละลายน้ำยาก และไม่เคลื่อนย้ายนั้น การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตควรให้อ่อนนุ่มของปุ๋ยอยู่ใกล้รากพืชมากที่สุด ซึ่งต่างจากธาตุไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ง่ายและสามารถซึมลงไปสู่ระบบรากได้

3.3.5 วิธีการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีสถานะแตกต่างกัน มีหลายวิธีการดังนี้ คือ

1) การใส่ปุ๋ยที่อยู่ในรูปแก๊ส ได้แก่ การใส่แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์แอมโมเนียมีวิธีการใส่ดังนี้ คือ

(1) ใส่ลงดินโดยตรงด้วยเครื่องมือชนิดพิเศษ จะต้องใส่ในระยะความลึกไม่ต่ำกว่า 10 – 15 เซนติเมตร ในขณะที่ดินมีความชื้นพอเหมาะหากเป็นดินเนื้อหยาบควรใส่ลึกกว่านี้เล็กน้อย

(2) พ่นฟองแอมโมเนียลงในร่องน้ำชลประทาน เพื่อให้แอมโมเนียละลายน้ำแล้วกระจายไปกับน้ำสู่ดินอย่างทั่วถึง ทั้งนี้ควรระมัดระวังการสูญหายของก๊าซแอมโมเนีย

2) การใส่ปุ๋ยชนิดของแข็ง มีวิธีการใส่ 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

(1) การใส่ก่อนปลูกหรือพร้อมกับการปลูก (*basal application*) เรียกปุ๋ยที่ใช้ในวิธีการนี้ว่า ปุ๋ยรองพื้นหรือรองกันหลุม (ถ้าปลูกพืชเป็นหลุม) การใส่ปุ๋ยที่ค่อนข้างละลายน้ำง่ายพร้อมกับการหยอดเมล็ดหรือก่อนหยอดเมล็ด ควรใส่ในระยะที่ปุ๋ยอยู่ไม่ห่างจากเมล็ดมากนัก เพื่อให้กล้าอ่อนได้ใช้ประโยชน์โดยเร็ว และเจริญเติบโตได้ดีในระยะแรก ปุ๋ยรองพื้นเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ปุ๋ยเร่งต้นอ่อน (*starter fertilizer*)

(2) ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (*top dressing*) คือ การใส่ปุ๋ยขณะที่มีการปลูกพืชอยู่ในพื้นที่แล้วเป็นการใส่ปุ๋ยเสริมปุ๋ยรองพื้นจากที่เคยใส่ก่อนปลูก เพื่อให้พืชได้รับปุ๋ยนั้น ๆ อย่างเพียงพอ วิธีการนี้เหมาะสำหรับปุ๋ยในโตรเจนและควรมีการพิจารณาจำนวนครั้งที่ใส่ตามความเหมาะสม การใส่ปุ๋ยรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้ามี 4 วิธี ที่ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของพืชที่ปลูก ดังนี้

ก) โรยเป็นแถวแคบ (*banding*) เป็นวิธีที่เหมาะสมกับพืชที่ปลูกเป็นแถว โดยโรยปุ๋ยเป็นแถบบ้าง ๆ แถวพืชข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างก็ได้ หากเป็นการใส่พร้อม

กับการหยอดเมล็ดจะต้องระวังไม่ให้แนวปุ๋ยอยู่ใกล้เมล็ดพืชเกินไป เพราะความเค็มของปุ๋ยจะทำลายการงอกของเมล็ด เช่น การปลูกถั่วด้วยเครื่องปลูก ควรบังคับปุ๋ยให้อยู่สองข้างแถวเมล็ด ห่างจากแถวเมล็ดข้างละ 5 เซนติเมตร และลึกกว่าระดับเมล็ด 5 เซนติเมตร

ข) โรยเป็นแถวกว้าง (strip placement) เป็นวิธีการใส่ปุ๋ยที่ขยายแถบปุ๋ยให้กว้างในระหว่างแถวพืช ซึ่งจะช่วยให้ดินบริเวณที่รับปุ๋ยได้มากขึ้น แต่เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงขึ้นกว่าการหว่านทั่วทั้งแปลง แต่ไม่เข้มข้นสูงเหมือนแนวที่ได้รับการโรยเป็นแถบแคบจึงช่วยการกระจายของปุ๋ย และลดการตรึงปุ๋ยของดินได้

ค) การหว่านทั่วทั้งแปลง (broadcasting) เพื่อให้ปุ๋ยมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ เป็นการปฏิบัติก่อนการปลูกเมื่อหว่านเสร็จแล้วอาจพรวนกลบก็ได้ หรือการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในนาข้าว

ง) ใส่ปุ๋ยเป็นจุด (localized placement) หมายถึง การใส่ปุ๋ยที่จุดหรือรูที่เจาะไว้เป็นการเฉพาะเท่านั้น วิธีนี้ใช้ได้ผลดีเฉพาะไม่ขึ้นดิน ที่มีการกระจายของรากพืชหลายระดับและหลายทิศทาง เช่น การใส่ปุ๋ยไม้ผลที่มีการเจริญเติบโตแล้ว

การใส่ปุ๋ยลงไปตำแหน่งที่เหมาะสมกับระบบรากพืชจะมีขอบเขตที่ไม่แพร่กระจายบนผิวดิน จะช่วยให้การเจริญเติบโตในระยะแรกที่ดีขึ้นและเป็นการจำกัดการเจริญเติบโตของวัชพืชด้วย สำหรับปุ๋ยที่เคลื่อนย้ายได้น้อย เช่น ปุ๋ยฟอสเฟตที่โรยปุ๋ยเป็นแถวลึกกว่าเมล็ด 2 นิ้ว ให้ผลดีกว่าการโรยเป็นแถวข้างเมล็ด โดยห่างจากเมล็ดนี้ครึ่งและลึกลงไป 2 นิ้ว

3) การใส่ปุ๋ยในลักษณะที่เป็นของเหลว

(1) การใส่ปุ๋ยร่วมกับการให้น้ำ เป็นการใส่ปุ๋ยในอ่างเก็บน้ำแล้วสูบเข้าสู่ระบบการทำฝนเทียมหรือการพ่นฝอย (sprinkling system) พืชจะได้รับปุ๋ยทั้งทางใบและทางราก วิธีนี้เหมาะกับดินเนื้อหยาบ แต่ควรพิจารณาคุณสมบัติของปุ๋ยบางชนิดที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยา และทำให้เกิดการตกตะกอนในถังน้ำ ตะกอนเหล่านั้นอาจจะอุดตันในระบบพ่นฝอย วิธีการใส่ปุ๋ยแบบนี้เรียกว่า fertigation ซึ่งนับเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ย หรือในการให้ปุ๋ยร่วมกับระบบชลประทาน ได้แก่ การใส่ปุ๋ยโดยการละลายปุ๋ยในน้ำชลประทานที่จะให้กับพืชในระดับผิวดิน หรือเหนือผิวดิน เช่น ในระบบน้ำหยด ซึ่งวิธีการนี้พืชจะได้รับน้ำชลประทานและปุ๋ยเคมีไปพร้อม ๆ กันในเวลาเดียวกัน วิธีการให้ปุ๋ยวิธีนี้จัดได้ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดแรงงาน และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในระยะยาวต่ำกว่าการให้ระบบพ่นฝอย

(2) การฉีดพ่นทางใบ (foliar sprays) เป็นการใส่แบบฉีดพ่นให้กับพืชโดยทางใบ โดยการฉีดปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่ายให้เป็นละอองน้ำจับที่ใบหรือส่วนของต้นพืชเหนือดินเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มเติมจากที่รากจะดึงดูดขึ้นมาได้จากดิน

อย่างไรก็ตาม การให้ปุ๋ยทางใบหรือส่วนของต้นเหนือดิน ถึงแม้ธาตุอาหารที่ฉีดให้จะสามารถเข้าสู่พืชได้เร็ว แต่ปริมาณธาตุอาหารที่ดูดซึมเข้าสู่พืชก็น้อย ดังนั้นการให้ปุ๋ยโดยวิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการให้ธาตุอาหารเสริมแก่พืช และพืชที่มีระบบรากถูกทำลาย (มุกดา สุขสวัสดิ์ 2547)

3.4 หลักในการพิจารณาการใช้ปุ๋ยทางใบให้มีประสิทธิภาพ

3.4.1 พืชที่มีจำนวนของใบมากและมีแผ่นใบใหญ่ก็จะมีพื้นที่ผิว (surface area) ที่จะรับละอองปุ๋ยได้มาก และมีการดูดซึมธาตุอาหารได้สูงกว่าพืชที่มีใบเล็ก เนื่องจากใบมีช่องว่างซึ่งมีโอกาสให้ธาตุอาหารต่าง ๆ เคลื่อนเข้าไปสู่พืชได้จึงมีการพัฒนาปุ๋ยให้สามารถดูดไปใช้ได้โดยผ่านเข้าทางปากใบ ซึ่งโดยเฉลี่ยพืชมีปากใบ 100 – 300 ต่อตารางมิลลิเมตร ผิวใบด้านล่างมีจำนวนปากใบมากกว่าผิวด้านบน การที่พืชมีปากใบเป็นจำนวนมากย่อมทำให้ธาตุอาหารพืชมีโอกาสเข้าสู่ใบได้มาก แต่อย่างไรก็ตามนอกจากปากใบแล้วยังมีปัจจัยอื่นอีกที่ควบคุมการดูดธาตุอาหารเข้าสู่ใบพืช เช่น ชั้นคิวติเคิล ผนังเซลล์โลส และพลาสมาเมมเบรน ทั้งนี้สารละลายจะต้องผ่านชั้นเหล่านี้ให้ได้ก่อนจึงจะเข้าสู่เซลล์พืชได้

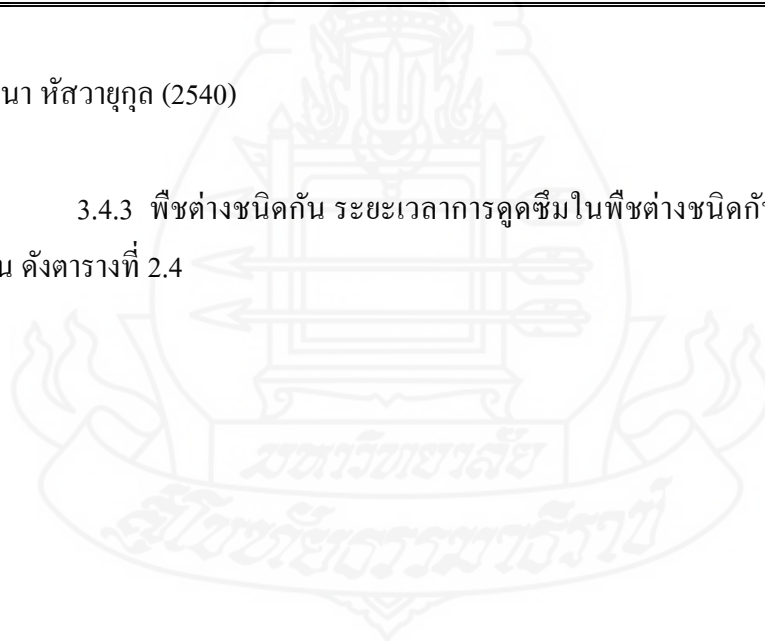
3.4.2 ความเข้มข้นของปุ๋ยที่ใช้ ถ้าใช้ความเข้มข้นของปุ๋ยเกินอัตราพอดีจะทำให้อัตราการดูดซึมได้ช้า และเป็นอันตรายต่อพืชอีกด้วย เช่น การใช้ปุ๋ยยูเรียควรมี ความเข้มข้นของไบยูเรต (biuret) ต่ำกว่าร้อยละ 0.25 หากสูงกว่านี้จะทำให้ใบไหม้ และถ้าใส่ลงดินก็ไม่ควรมีไบยูเรตสูงกว่าร้อยละ 1 จึงจะปลอดภัยแก่การใช้ ไบยูเรตเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในขั้นตอนที่ใช้ความร้อน ถ้าการควบคุมอุณหภูมิไม่เหมาะสมในขั้นนี้ ยูเรีย 2 โมเลกุลรวมตัวกันได้ไบยูเรต 1 โมเลกุลและแอมโมเนีย 1 โมเลกุล นอกจากนี้ พืชแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยแตกต่าง ดังตารางที่ 2.3 แม้พืชพันธุ์เดียวกันแต่ในใบอ่อนและอวบน้ำอาจจะไม่ทนต่อสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงได้เท่ากับใบแก่หรือใบที่หนาและแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากใบอ่อนดูดยูเรียตลอดจนอนุมูลอื่น ๆ เช่น P, Mg, K, Zn และ Mn เป็นต้น ได้รวดเร็วกว่าใบแก่แม้จะใช้ความเข้มข้นเดียวกัน ขนาดของหยดหรือละอองที่พ่นจับผิวใบก็ให้ผลแตกต่างกัน กล่าวคือ ละอองของสารละลายที่ใหญ่จะก่อให้เกิดใบไหม้ได้ง่ายกว่าละอองเล็ก

ตารางที่ 2.3 อัตราของยูเรียที่พืชทนได้ (น้ำหนักของยูเรียเป็นกิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร)

พืช	อัตราที่ทนได้	พืช	อัตราที่ทนได้	พืช	อัตราที่ทนได้
แตงกวา	0.36 – 0.60	ราสเบอร์รี่	0.48 – 0.72	หอม	2.40
ถั่ว	0.48 – 0.72	แอปเปิ้ล	0.48 – 0.72	สับปะรด	2.40 – 6.00
มะเขือเทศ	0.48 – 0.72	สตอเบอรี่	0.48 – 0.72	โกโก้	0.60 – 1.20
พริกไทย	0.48 – 0.72	พลับ	0.60 – 1.80	อ้อย	1.20 – 2.40
ข้าวโพดหวาน	0.48 – 0.72	ท้อ	0.60 – 2.40	กล้วย	0.10 – 1.20
ผักกาดหอม		เชอร์รี่	0.60 – 2.40	ฝ้าย	2.40 – 6.00
กะหล่ำ	0.48 – 0.42	มันฝรั่ง	2.40	ยาสูบ	0.63 – 1.20
แครอท	0.72 – 1.44	ข้าวโพด	0.60 – 2.40	ส้ม	0.60 – 1.20
เชลเลอร์รี่	2.40	ข้าวสาลี	2.40 – 9.60	องุ่น	0.48 – 0.72
	2.40				

ที่มา: จินตนา หัสวายุกุล (2540)

3.4.3 พืชต่างชนิดกัน ระยะเวลาการดูดซึมในพืชต่างชนิดกันได้เร็วช้า มากน้อย
แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4



ตารางที่ 2.4 อัตราการดูดซับธาตุอาหารพืชที่พบนทางใบ

ธาตุอาหาร	ชนิดของพืช	เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ธาตุอาหาร 50 เปอร์เซ็นต์
ไนโตรเจน (N) (เช่น ยูเรีย)	ส้ม	1 – 2 ชั่วโมง
	แอปเปิ้ล	1 – 4 ชั่วโมง
	สับปะรด	1 – 4 ชั่วโมง
	อ้อย	2 – 4 ชั่วโมง
	ยาสูบ	24 – 36 ชั่วโมง
	กาแฟ, โกโก้	1 – 4 ชั่วโมง
	กล้วย	
	แตงกวา, ถั่ว	1 – 6 ชั่วโมง
	มะเขือเทศ, ข้าวโพด	1 – 6 ชั่วโมง
	เชลเลอรี่, มันเทศ	12 – 24 ชั่วโมง
ฟอสฟอรัส (P)	แอปเปิ้ล	7 – 11 วัน
	ถั่ว	6 วัน
	อ้อย	15 วัน
โพแทสเซียม (K)	ถั่ว, น้ำเต้า	1 – 4 วัน
แคลเซียม (Ca)	ถั่ว	4 วัน
แมกนีเซียม (Mg)	แอปเปิ้ล	20% ใน 1 ชั่วโมง
กำมะถัน (S)	ถั่ว	7 วัน
คลอรีน (Cl)	-	1 – 2 วัน
เหล็ก (Fe)	-	8% ใน 24 ชั่วโมง
แมงกานีส (Mn)	-	24 – 48 ชั่วโมง
สังกะสี (Zn)	ถั่ว	24 ชั่วโมง
โมลิบดีนัม (Mo)	ถั่ว	ร้อยละ 4 ใน 24 ชั่วโมง

ที่มา : จินตนา หัสวายุกุล (2540)

3.4.4 ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ พืชจะใช้เวลาดูดซึมได้เร็วต่างกัน เช่น ไนโตรเจนในรูปของยูเรียจะถูกดูดซึมเข้าไปได้เร็วกว่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

3.4.5 พืชที่ขาดธาตุอาหารนั้น ๆ เมื่อได้รับปุ๋ย พืชก็จะดูดปุ๋ยได้ดี และเร็วกว่าพืชที่ไม่ขาดธาตุอาหารนั้น ๆ

3.4.6 การเคลื่อนย้าย (mobility) ของธาตุอาหารต่าง ๆ จะแตกต่างกันตามชนิดของธาตุอาหารและรูปของธาตุอาหารนั้น ๆ (มุกดา สุขสวัสดิ์ 2547)

3.5 อัตราการใช้ปุ๋ยเคมีที่เป็นธาตุอาหารเสริม

ปุ๋ยเคมีที่ใช้ธาตุอาหารเสริมจะอยู่ในรูปของเกลือหรือคีเลต โดยจะมีปริมาณของธาตุอาหารเสริมที่อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ และมีอัตราการใช้ปุ๋ยทางใบดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รูปและอัตราการใช้ธาตุอาหารเสริม

ธาตุอาหารเสริม	ในรูปของ	อัตราการใช้
โบรอน (B)	เกลือโบเรตหรือกรดบอริก	150 กรัมต่อน้ำ 32 ลิตร
ทองแดง (Cu)	เกลือซัลเฟตหรือคลอไรด์	10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร
เหล็ก (Fe)	เกลือซัลเฟตหรือคลอไรด์	0.1 – 0.4 เปอร์เซ็นต์
โพแทสเซียม (K)	โพแทสเซียมไนเตรต	3 – 4 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ 15 – 20 วัน
แมกนีเซียม (Mg)	เกลือซัลเฟตหรือไนเตรต	2 เปอร์เซ็นต์ของสารพ่น 2 – 4 ครั้ง
แมงกานีส (Mn)	เกลือซัลเฟตหรือคลอไรด์	7 กรัม/น้ำ 20 ลิตร
โมลิบดีนัม (Mo)	เกลือโซเดียมหรือแอมโมเนียม	10 – 50 กรัม/น้ำ 100 ลิตร
ไนโตรเจน (N)	ปกติใช้ยูเรียผสมน้ำ	ไม่เกิน 0.5 – 1.0 เปอร์เซ็นต์ถ้าใช้กับหอม ฝ้าย มันฝรั่ง ใช้ 2 เปอร์เซ็นต์
ฟอสฟอรัส (P_2O_5)		ไม่เกิน 0.37 เปอร์เซ็นต์
สังกะสี (Zn)	เกลือซัลเฟตหรือคลอไรด์	0.3 – 0.5 เปอร์เซ็นต์

ที่มา: จินตนา หัสวายุกุล (2540)

3.6 สภาพที่เหมาะสมบางประการในการเลือกใช้การให้น้ำทางใบ (มุกดา สุขสวัสดิ์ 2547)

3.6.1 เมื่อพืชแสดงอาการขาดธาตุอาหาร และจะเป็นการซ้ำเกินไปถ้าจะให้แต่น้ำทางดินเท่านั้น เช่น เมื่อระบบรากถูกทำลายหรือเพิ่งเริ่มย้ายปลูก เป็นต้น

3.6.2 เมื่อพืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารเสริม และมีปัญหาเกี่ยวกับสมบัติของดินบางประการ เช่น ดินอาจเป็นดินด่างที่มีสมบัติด่างสูง การให้น้ำเกลือทางดินอาจไม่มีผลเหมือนการให้น้ำทางใบ เป็นต้น

3.6.3 เป็นธาตุอาหารเสริมที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อย

3.6.4 เมื่อจำเป็นต้องมีการพ่นสารป้องกันและกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชอยู่แล้ว การให้น้ำทางใบอาจผสมกับสารเคมีควบคุมศัตรูพืชพร้อม ๆ กันก็ได้

3.6.5 เมื่อต้องการเสริมธาตุอาหารพืชนอกเหนือจากที่พืชได้รับจากทางรากเท่านั้น

3.6.6 ตอบสนองกับพืชที่มีพื้นที่ผิวใบทั้งหมดสูง คือ ใบใหญ่และจำนวนใบมาก เพราะจะรับละอองน้ำได้มาก

3.6.7 เพื่อเพิ่มคุณภาพการติดดอกและคุณภาพของผล

3.6.8 ควรเลือกใช้ในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ แดดไม่จัดและมีความชื้นสัมพัทธ์สูง เพื่อให้สารละลายคงรูปอยู่ไม่แห้งติดใบ ซึ่งเป็นการยากต่อการดูดซึมเข้าสู่ใบ

3.7 ข้อจำกัดในการให้น้ำทางใบ (มุกดา สุขสวัสดิ์ 2547)

3.7.1 การพ่นน้ำให้มีละอองเล็กและรวดเร็วต้องใช้เครื่องมือพิเศษ

3.7.2 พืชหลายชนิดไม่ค่อยตอบสนองต่อการพ่นน้ำทางใบ องค์ประกอบทางเคมีและสัณฐานลักษณะของพืชมีผลกระทบท่อการเกาะติดที่ใบและการใช้ประโยชน์จากน้ำ

3.7.3 หากใช้อัตราสูงเกินไปอาจเกิดอาการใบไหม้ได้อย่างรุนแรงกว่าการใส่ในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้น้ำจืดจะต้องระมัดระวังในเรื่องอัตราที่ใช้อย่างมาก มิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายได้

3.7.4 ต้องไม่ใช้น้ำพ่นทางใบในขณะที่พืชเหี่ยวเฉาหรือขาดน้ำ หรืออากาศร้อนจัด หรือเมื่อคาดว่าจะฝนจะตก

3.7.5 น้ำเค็มชนิดนี้ อาจมีก๊าซเกิดขึ้นซึ่งอาจเป็นอันตรายได้ ควรเปิดด้วยความระมัดระวัง

3.7.6 โดยปกติพืชที่มักให้น้ำอยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร ซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนอุปกรณ์การพ่นน้ำมากกว่าสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั่ว ๆ ไป น้ำที่มีราคาแพง จึงควรฉีดพ่นให้สัมผัสใบมากที่สุด

ปิยะ ดวงพัตรา (2538) ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพทางโภชนาการของพืช (nutritional status) กับอัตราการให้หรือความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย เช่นถ้าพืชที่ปลูกมีสภาพทางโภชนาการไม่ดีเพราะดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำหรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของรากในการดูดใช้ธาตุอาหารพืชในดิน ดังตารางที่ 2.6

การให้ปุ๋ยในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดหรือด่างจัด ธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีที่ใช้ โดยฟอสฟอรัสมีโอกาสเปลี่ยนรูปได้ เช่น ถ้ามีการให้ปุ๋ยทางใบในระยะเวลาและอัตราที่เหมาะสมจะมีประสิทธิภาพต่อการเร่งการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตพืชมากกว่าพืชที่มีสภาพทางโภชนาการที่ดีกว่าไปเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำในปริมาณมาก ทำให้ส่วนใหญ่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ อย่างไรก็ตามการให้ปุ๋ยทางใบ แม้ว่าโดยทั่วไปพืชจะดูดใช้ได้ดีกว่าการให้ทางดิน แต่จะต้องระวังในเรื่องปริมาณปุ๋ยที่ให้มากเกินไป เพราะอาจจะทำให้ใบไหม้และต้องมีการพ่นบ่อยครั้งพืชจึงจะได้ธาตุอาหารเพียงพอ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองแรงงาน เวลา และปัจจัยอื่น ๆ



ตารางที่ 2.6 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยทางใบ

พืช	สิ่งแวดล้อม	สารละลายปุ๋ยที่ใช้พ่น
คิวติเคิล	อุณหภูมิ	ความเข้มข้น
ส่วนที่อยู่บนคิวติเคิล	แสง	อัตราการใส่
อายุของใบ	ช่วงแสง	วิธีการใส่
ปากใบ	ลม	สารจับใบ
การ์ดเซลล์	ความชื้น	ความเป็นกรด – ด่าง
ขนใบ	ความแห้งแล้ง	ชนิดของปุ๋ย (Polar or nonpolar)
มุมระหว่างด้านบนของใบกับกิ่ง ลำต้น	ช่วงเวลาในแต่ละวัน	สมบัติการดูดความชื้นของปุ๋ยเคมี
มุมระหว่างด้านล่างของใบกับกิ่ง ลำต้น		สภาวะการขาดแคลนธาตุอาหาร
ความเต่งของใบ		ศักย์ทางออสโมติกของดินหรือ
ความชื้นบนผิวใบ		วัสดุปลูก ชนิดของสารประกอบ
ความสามารถในการแลกเปลี่ยน ประจุบวก		สมบัติการจับเกาะ
สภาพทางโภชนาการของพืช		น้ำตาล
ชนิดพันธุ์พืช		อัตราส่วนของธาตุอาหารพืช
ระยะการเจริญเติบโตของพืช		สารแทรกซึม (penetrants)
		สารนำพา (carriers)
		สารยึดเกาะน้ำ (humectants)

ที่มา: ปิยะ ดวงพัตรา (2538)