บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ส้ม (Citrus) จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae เป็นไม้ผลชนิดหนึ่งในกลุ่มไม้ผลเขตกึ่งร้อน (subtropical) พบได้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาวของหลายประเทศ แม้ว่าถึงกำเนิดเดิมของพืชตระกูลส้มจะอยู่ในเขตเอเชียอาคเนย์ แต่ได้มีการนำไปปลูกแพร่หลายในหลายท้องถิ่นเป็นเวลานานจนกลายเป็นพืชที่สำคัญของท้องถิ่นนั้นๆไปในประเทศไทยมีการปลูกพืชตระกูลส้มหลายชนิด เช่น ส้มเขียวหวาน ส้มโอ ส้มเกลี้ยง มะนาว มะกรูด แต่พันธุ์ส้มที่มีการปลูกมากเป็นอันดับหนึ่งของพื้นที่ปลูกส้มทั้งหมดคือ ส้มเขียวหวาน ข้อมูลจำเพาะทางพฤกษศาสตร์ (ประสพ, 2542) มีลักษณะดังนี้

ลำต้น เป็นไม้ยืนต้น ทรงพุ่มปานกลาง เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงพุ่มประมาณ 4 - 6 เมตร ความสูงของทรงพุ่มประมาณ 3 - 3.5 เมตร ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่สีเขียวเข้มไม่มีขน มีรอยแผลเป็นของใบและต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะของกิ่งอ่อนเป็นสี่เหลี่ยมเรียว

ใบ เป็นลักษณะของใบเดี่ยว (unifoliate) รูปไข่ค่อนข้างยาว หรือรูปไล่ หรือรูปหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวท้องใบมีสีเขียวอมเหลือง มีรูหายใจ ผิวหลังใบเป็นมันสีเขียว มีกลิ่นใบ ก้านใบมีลักษณะเป็นปีก (wing) มีสีเขียวอมเหลือง ใบมีขนาดเล็ก เนื้อเยื่อชั้นพาลิเสด (palisade layer) ของใบมีต่อมน้ำมัน อายุใบยาวนานถึงหนึ่งปี หรือมากกว่า

ดอก มีขนาดเล็ก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ขนาดของดอกมีความยาว 0.5 - 0.7 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 – 2.5 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงรูปร่างคล้ายถ้วยยื่นออกมามีจำนวน 3 – 5 กลีบ และไม่หลุดร่วง ส่วนของกลีบดอกมีสีขาว จำนวน 5 กลีบ และมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ แต่ละดอกมีจำนวนเกสรเพศผู้ประมาณ 18 – 23 อัน แยกกันอยู่เป็นกลุ่มๆ โดยฐานเชื่อมติดกัน ก้านเกสรเพศผู้มีสีขาว อับเกสรสีเหลือง เกสรเพศเมียมียอดเป็นตุ่ม ก้านเกสรสั้นหลุดร่วงไปได้ รังไข่อยู่บนแผ่นกลม เป็นรังไข่ชนิด superior แบ่งเป็น 8 – 15 ช่อง แต่ละช่องของรังไข่มีไข่อยู่ 2 แถว แต่บางชนิดก็พบเป็นรังไข่ที่ฝ่อ ระยะที่เกสรเพศเมียพร้อมผสม จะผลิตของเหลวที่มีรสหวานซึ่งพบบริเวณตุ่มของเกสรเพศเมียเท่านั้น การออกดอกจะพบในตำแหน่งซอกใบเป็นดอกเดี่ยว หรือดอกช่อ

ผล มีรูปร่างกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียว หรือเขียวอมเหลือง หรือส้มอมเหลือง จัดเป็นผลแบบ hesperidium ผิวชั้นนอกสุด (exocarp) จะเรียบมีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนของเปลือกบาง มีความหนาประมาณ 0.2 – 0.3 เซนติเมตร มีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือสีส้ม มีกลิ่นหอม แรงเปลือกชั้นกลาง (mesocarp) มีส่วนประกอบของ เพคติน ไกลโคไซด์ วิตามินซี และน้ำตาล เป็นเนื้อเยื่อสีเหลืองอ่อน เปลือกชั้นใน (endocarp) ประกอบด้วยกลีบจำนวน 10 – 15 กลีบ แต่ละกลีบมีผนังบางโปร่งใสหุ้มรอบช่อรังไข่ มีน้ำบรรจุภายในจำนวนมาก เปลือกชั้นในจึงมีลักษณะเป็นถุงน้ำเรียกว่า กุ้ง (juice sac) เป็นส่วนของผลที่รับประทานได้ รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ซึ่งน้ำภายในกุ้งประกอบด้วยน้ำตาล และกรดน้ำส้ม (citric acid) ก้านผลมีขนาดเล็ก ขนาดผลแตกต่างกัน ตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กาง 5 – 8 เซนติเมตร ยาว 4 – 7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะห้อยลง

เมล็ด รูปร่างแบบรูปไข่หัวกลับ เนื้อเยื่อส่วนสะสมอาหารมีสีเขียวอ่อน หรือสีเขียวอมเหลือง จำนวนเมล็ดมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละกลีบ หนึ่งเมล็ดสามารถขยายพันธุ์ได้จำนวนหลายต้น

การแบ่งพืชตระกูลส้ม (พายัพ, 2542)

1. กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (orange group)

เป็นกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียทางแถบทิเบต ไปจนถึงจีนและพม่า แบ่งเป็น 2 พวกคือ

1.1 ส้มที่มีรสหวาน (sweet orange ; *Citrus sinensis*)

เป็นผลไม้สดในประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากจะใช้รับประทานสดแล้ว ยังแปรรูปเป็นน้ำส้ม ซึ่งถ้านำไปแช่แข็งจะสามารถเก็บรักษาได้นาน ส้มที่มีรสหวานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

1.1.1 ออเรนจ์ แหล่งปลูกที่สำคัญคือ แถบเมดิเตอร์เรเนียน ได้แก่ สเปน อิตาลี และ ฝรั่งเศส พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้า เช่น Hamlin, Berma, Pineapple และ Shamouti

1.1.2 ชนิดที่เนื้อผลมีกรดน้อย ส้มในกลุ่มนี้จะพบกรดในปริมาณที่น้อย คือ ประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ได้แก่ ส้มSukkari ในประเทศอียิปต์ และ de Nice ในประเทศฝรั่งเศส

1.1.3 ชนิดที่มีเนื้อผลสีแดงส้ม ส้มในกลุ่มนี้พบแอนโทไซยานินที่เปลือก และในน้ำคั้น รู้จักดีในนาม blood orange ได้แก่ ส้ม Moro, Tarocco และ Sanguinelli เป็นต้น

1.1.4 นาเวล ลักษณะสำคัญคือปลายผลมีลักษณะเป็นแอ่ง คล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งนี้อาจมีผลขนาดเล็กๆ เกิดขึ้นซ้อนอยู่อีก นอกจากนี้ยังไม่มีเมล็ด

1.2 ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขม (Sour or Bitter orange; *Citrus aurantium*)

มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น ทางตะวันตกของอินเดีย และแถบเมดิเตอเรเนียนจนถึงทวีปยุโรป ในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 16 กลุ่มส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขมนี้ จัดเป็นส้มชนิดแรก ที่แพร่กระจายเข้าไปในแถบต่างๆ ของทวีปยุโรปและอเมริกา เช่น รัฐฟลอริดา

ส้มที่มีรสเปรี้ยว และส้มที่มีรสหวาน มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันที่ใบของส้มที่มีรสเปรี้ยว และมีใบสีเข้มกว่า ก้านใบยาวกว่า และมีปีกกว้างกว่า ลักษณะผลแบน และสีเข้มกว่า มีเปลือกหนากว่าส้มที่มีรสหวาน ลักษณะต้นสูงใหญ่ มีใบหนามาก และทนต่อสภาพอากาศเย็นจัด หรือร้อนจัดได้ดีกว่าส้มพันธุ์อื่นๆ

2. กลุ่มส้มจีน ส้มเขียวหวาน (Mandarin group; *Citrus reticulate* Blanco)

ส้มเขียวหวานมีชื่อสามัญว่า mandarin หรือ tangerine อยู่ในตระกูล Rutaceae จัดเป็นไม้ผลเขตกึ่งร้อน มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในประเทศจีน ปลูกมานานในประเทศจีน ต่อมามีการแพร่กระจายไปยังสหรัฐอเมริกาและยุโรป จนปัจจุบันเป็นผลไม้ที่ปลูกกันทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน ในประเทศแถบเอเชียอาคเนย์ เช่น ไทย ญี่ปุ่น ไต้หวัน เป็นต้น (เกศิณี, 2546) ลักษณะของส้มพวกนี้คือ เปลือกอ่อน เปลือกล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มแยกหลุดออกจากกันได้ง่าย ส้มในกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนจ์ มีผู้พยายามแยก "แมนดาริน" และ "แทนเจอริน" โดยใช้ความแตกต่างระหว่างสีของเปลือก เช่น พวกที่มีเปลือกสีส้มหรือสีแดงเรียกว่า "แทนเจอริน" พวกที่มีเปลือกสีเหลืองอ่อนๆ เรียกว่า "แมนดาริน" เป็นต้น กลุ่มแมนดารินมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย บางพันธุ์มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอินโดจีน ได้แก่ ส้มคิง และส้มคูเนน โบแมนดาริน พันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ พันธุ์ซัซซูม่า ส้มกลุ่มแมนดารินแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยดังนี้

2.1 ซัซซูม่า (*Citrus unshiu* Marcovitch) มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น เป็นพวกที่ทนต่อสภาพอากาศเย็นได้ดีที่สุด จึงสามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในเขตอากาศเย็น

2.2 คิงแมนดาริน (*Citrus nobilis* Loureiro) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "King of Siam" มีถิ่นกำเนิดในอินโดจีน พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์คิง

2.3 เมดิเตอเรเนียนแมนดาริน (*Citrus deliciosa* Tenore)

2.4 แมนดาริน (Citrus reticulate Blanco) ลักษณะโดยทั่วไปของส้มพวกนี้มีดอกและใบขนาดเล็ก ผลขนาดกลางถึงใหญ่ เปลือกบางและล่อน ปอกออกได้ง่าย ผลไม่ค่อยฟ่าม อาจเรียกว่าส้มเปลือกล่อนก็ได้ สายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ เขียวหวาน และ โชกุน ซึ่งอาจมีชื่อ

เรียกเป็นอย่างอื่นขึ้นอยู่กับแหล่งปลูกหรือเพื่อการค้า สาเหตุที่นิยมปลูกเนื่องจากตลาดทั้งในและต่างประเทศมีความต้องการสูง ลักษณะประจำพันธุ์ของส้มทั้งสองพันธุ์ดังนี้

ส้มเขียวหวาน เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะทรงต้นเล็ก ทรงพุ่มโปร่ง กิ่งห้อยลง ใบมีสีเขียว มีขนาดเล็กและน้ำหนักของผลน้อย ส้มเขียวหวานมีรสชาติค่อนข้างหวาน เนื้อผลเป็นสีส้ม ติดผลดก แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญคือในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย แต่เมื่อนำไปปลูกในเขตพื้นที่อื่นจึงมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ส้มผิวทอง ส้มสีทอง เป็นต้น

ส้มโชกุน เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยม รู้จักในนาม "ส้มสายน้ำผึ้ง" หรือ "ส้มเพชรยะลา" มีทรงต้นและขนาดต้นใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่ทรงพุ่มค่อนข้างหนากว่า ลักษณะกิ่งและใบตั้งขึ้น ในขณะที่ส้มเขียวหวานกิ่งและใบห้อยลง ใบส้มโชกุนมีขนาดเล็กกว่าใบส้มเขียวหวานและมีสีใบที่เขียวเข้มกว่า ลักษณะดอกของส้มโชกุนมีขนาดใหญ่กว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย และลักษณะผลขนาดใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน ส้มโชกุนมีสะดือที่ผลซึ่งเป็นเอกลักษณ์พิเศษ นอกจากนี้เนื้อผลค่อนข้างแน่น ถ้าปลูกในภาคเหนือผิวของเปลือกส้มมีสีทองเนื่องจากมีอากาศหนาวเย็น แตกต่างจากการปลูกในภาคใต้ เพราะสีผิวเปลือกจะเขียว (พิทยา และคณะ, 2552)

3. กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุต (Pumelo and Grapefruit Group)

ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลำต้นและทรงพุ่ม แตกต่างกันตรงที่ส้มโอมีลำต้นใหญ่และแข็งแรงกว่า แต่เกรฟฟรุตมีทรงพุ่มเล็กกว่า

3.1 ส้มโอ (*Citrus grandis* L.Osbeck) จัดเป็นส้มที่ผลขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชตระกูลส้มทั้งหมดที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน ส้มโอแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว และชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ

3.2 เกรฟฟรุต (*Citrus paradisi* Macfadyen) มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินเดียตะวันตก ลักษณะผลคล้ายกับส้มโอมาก แต่มีผลขนาดเล็ก แหล่งปลูกอยู่ที่ รัฐฟลอริดา อิสราเอล จาไมก้า คิวบา และ อาเจนติน่า เป็นต้น เกรฟฟรุตแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์มาซ และชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ ได้แก่ พันธุ์สตาร์ รูบี และ ริโอเรด เป็นต้น

4 กลุ่มมะนาว (Common acid member)

มะนาวฝรั่งหรือเลมอน (*Citrus limon* L.Burm f.) มีถิ่นกำเนิดทางตะวันออกของประเทศอินเดีย ปัจจุบันเลมอนมีความสำคัญในตลาดโลกค่อนข้างมาก โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา อิตาลี และสเปน ผลิตได้ประมาณ 50, 40 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของผลิตทั้งหมดของโลก

4.1 มะนาวไทย หรือ ไลม์ (*Citrus aurantifolia* Swing) มีถิ่นกำเนิดทางตะวันตกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนประเทศมาเลเซีย

4.2 ซิตรอน (*Citrus medica* L.) มีถิ่นกำเนิดทางอินเดียตะวันออกเฉียงเหนือ ผลมีเปลือกหนา ถุงน้ำมีจำนวนน้อย รสเปรี้ยวจัด และเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูป เช่น เปลือกแช่อิ่ม ทำขนม

สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในการเกษตร เนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางและเห็นผลได้ชัดเจน สามารถใช้เร่งหรือชะลอให้เกิดการกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ซึ่งถูกควบคุมด้วยสารแต่ละชนิดแตกต่างกันไป คำว่า "ฮอร์โมนพืช (plant hormone)" มีความหมายถึง สารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นเอง มีปริมาณน้อยมาก แต่มีผลในด้านการส่งเสริมหรือ ยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาภายของต้นพืชนั้นๆ ทั้งนี้ไม่รวมพวกน้ำตาลหรือสารอาหารที่เป็นอาหารพืชโดยตรง พืชจะสังเคราะห์ฮอร์โมนปริมาณน้อยมาก แต่เพียงพอที่จะควบคุมการเจริญเติบโตภายในต้นพืชนั้นๆ (นันทนา, 2549) ซึ่งต่อมาได้ศึกษาค้นคว้าการสกัดสารฮอร์โมนออกมาจากพืช เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ แต่พบว่าเป็นเรื่องยาก และไม่คุ้มค่าในการลงทุน จึงมีการค้นคว้าและสังเคราะห์สารต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนธรรมชาติขึ้น เพื่อใช้ประโยชน์ทดแทน ดังนั้นสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช ที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นมา จึงมีการบัญญัติศัพท์ทางวิชาการว่า "สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulartors)" ซึ่งหมายถึงสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นเองหรือสารสังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์ มีคุณสมบัติในการกระตุ้น ยับยั้ง หรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช การเจริญเติบโตทุกขั้นตอนล้วนแล้วแต่ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนทั้งสิ้น ตั้งแต่การงอกของเมล็ดจนกระทั่งตาย (สมพร, 2549) ดังนั้นการใช้สารสังเคราะห์ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับความสมดุลของฮอร์โมนภายใน เป็นผลทำให้ต้นพืชแสดงพฤติกรรมต่างๆ ที่นอกเหนือการควบคุมของธรรมชาติ แต่ก่อนการใช้สารสังเคราะห์เหล่านี้ ควรศึกษาคุณสมบัติ อัตราและระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สารที่จัดว่าเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ต้องเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นหลัก
2. ฮอร์โมนพืชโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพก่อให้เกิดการตอบสนองจากพืช ภายใต้ความเข้มข้นในต้นพืชที่ต่ำมาก คือ ไมโครโมล (μM) หรือ มิลลิลิตรต่อลิตร (ppm)
3. ไม่ใช่อาหารหรือธาตุอาหารพืช เช่น น้ำตาลซูโครส ไม่ถือว่าเป็นฮอร์โมนแม้ว่าจะมีการลำเลียง มีการสังเคราะห์จากพืช และก่อให้เกิดการเจริญเติบโตได้ แต่จะมีผลเมื่อความเข้มข้นสูงใน

ระดับ 1 – 5 มิลลิโมล เช่นเดียวกับ กรดอะมิโน (amino acid) กรดอินทรีย์ ธาตุอาหารต่างๆ ที่เป็นวัตถุดิบในการสร้างอาหาร ไม่ถือว่าเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโต

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเป็นสารกลุ่มใหญ่ ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ แต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะในการตอบสนองต่ออวัยวะต่างๆ ออกซิน เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดแรกที่ถูกค้นพบ ต่อมามีการค้นพบเพิ่มอีก 4 กลุ่ม ได้แก่ จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน เอทิลีน และ กรดแอบซิสสิค สารที่ได้รับการยอมรับให้เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มใหม่ล่าสุด ได้แก่ บราสสิโนสเตอรอยด์ ซาลิไซลิก จัสโมนิก และ โพลีเอมีน นอกจากนี้ ยังรวมถึงสารชะลอการเจริญเติบโต (plant growth retardents) และสารยับยั้งการเจริญเติบโต (plant growth inhibitors)

ความสำคัญของไม้ผลนอกฤดู

การผลิตไม้ผลให้ออกนอกฤดู มีวัตถุประสงค์เพื่อการได้ผลผลิตเพื่อนำมาจำหน่ายหรือบริโภค ซึ่งผลผลิตนั้นเกิดขึ้นนอกเหนือช่วงฤดูกาลออกดอก ติดผลปกติ ในกรณีการผลิตเพื่อการค้าซึ่งมีปัจจัยด้านปริมาณ และราคาเป็นตัวกำหนด ทำให้เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตนอกฤดูมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ช่วงจังหวะและระยะเวลาการออกดอกเป็นตัวกำหนดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว หากสามารถทำให้ไม้ผลออกดอก ติดผล และเก็บเกี่ยวได้ในช่วงเวลาที่มีผลผลิตจากแหล่งอื่นออกสู่ตลาดน้อย ราคาผลผลิตที่จำหน่ายก็จะสูงตามไปด้วย การออกดอกของไม้ผลแต่ละชนิดต้องการปัจจัยสนับสนุนแตกต่างกันไป หากแบ่งพฤติกรรมการออกดอกจะสามารถแบ่งได้ดังนี้ (พีรเดช, 2542)

ไม้ผลที่ให้ผลผลิตได้ทั้งปีไม่จำกัดฤดูกาล สามารถที่จะออกดอกได้ตลอดทั้งปี โดยไม่จำกัดว่าเป็นฤดูใด เช่น กล้วย มะละกอ และมะพร้าว ซึ่งผลผลิตเหล่านี้สามารถหาซื้อได้ และมีราคาใกล้เคียงกันตลอดทั้งปี ยกเว้นในบางช่วงเทศกาลที่มีความต้องการสูง

ไม้ผลที่ให้ผลผลิตได้ในบางช่วงของปี สามารถออกดอกและติดผล และให้ผลผลิตได้มากกว่า 1 ครั้งในรอบปี แต่ไม่ได้ให้ผลผลิตต่อเนื่องกันตลอดทั้งปี เช่น องุ่น ส้ม มะนาว ไม้ผลกลุ่มนี้สามารถออกดอกและติดผลได้เป็นช่วงๆ ในรอบปี และสามารถบังคับการออกดอกได้ ทำให้อาจมีผลผลิตออกจำหน่ายได้ตลอดทั้งปี ราคาผลผลิตจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างปริมาณของผลผลิต กับความต้องการของตลาด

ไม้ผลที่ให้ผลผลิตได้ปีละครั้งในฤดูกาลที่เฉพาะ สามารถออกดอกและติดผลและให้ผลผลิตได้เพียงปีละครั้งเท่านั้น โดยมีการออกดอกและติดผลในช่วงเดือนใดเดือนหนึ่งเป็นประจำในรอบปี ซึ่งส่วนใหญ่ไม้ผลจัดอยู่ในประเภทนี้ เช่น ทุเรียน มังคุด ลำไย ลิ้นจี่ และมะม่วง ราคาของผลไม้

เหล่านี้มักต่ำมากเมื่อถึงฤดูปกติ เนื่องจากมีผลผลิตออกสู่ตลาดพร้อมกัน ในขณะที่กลุ่มผู้บริโภคยังมีกำลังการบริโภคเท่าเดิม ดังนั้นหากสามารถจัดการเพื่อกำหนดช่วงเวลาการออกดอก และเก็บเกี่ยวให้แตกต่างไปจากฤดูกาลปกติได้หรือที่เรียกว่า "การผลิตนอกฤดู" ก็สามารถจำหน่ายผลผลิตเหล่านี้ได้ในราคาที่สูงกว่าปกติ ดังนั้นเทคโนโลยีการผลิตนอกฤดูจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

พฤติกรรมการออกดอก และติดผลของส้มสายน้ำผึ้ง

ส้มสายน้ำผึ้งเป็นพืชที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้ดี จึงออกดอกติดผลได้มากกว่า 1 ครั้งในรอบปี ต้นส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่มีความสมบูรณ์ในพื้นที่อำเภอฝาง ไชยปราการ และแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ สามารถเก็บเกี่ยวได้ถึง 5 รุ่นภายใน 1 ปี (ตารางที่ 1) แต่ต้นที่ไม่สมบูรณ์อาจเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 ถึง 2 รุ่นภายใน 1 ปี ส้มในฤดูส่วนใหญ่(รุ่นที่ 1) เริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคม แต่เปลือกผลจะมีสีส้มจัดและรสชาติหวานอร่อยที่สุดในเดือนมกราคม ถัดมาเป็นส้มนอกฤดูซึ่งมีผลผลิตไม่มากนักแต่จะมีผลติดบนต้นเป็นรุ่นๆ ไป ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายนเปลือกจะมีสีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย รสชาติหวานอมเปรี้ยว ไม่หวานจัดเหมือนส้มในฤดู (พิทยา และคณะ, 2552)

ตารางที่ 1 การออกดอก ติดผล และเก็บเกี่ยวผลผลิตส้มรุ่นต่างๆ ของจังหวัดเชียงใหม่

รุ่น/เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
รุ่น 1												
รุ่น 2												
รุ่น 3												
รุ่น 4												
รุ่น 5												

แทนระยะ ผลิตาดอก และออกดอก

แทนระยะ ผลมีขนาดประมาณเหรียญ 10 บาท

แทนระยะ สีเปลือกผลเริ่มเปลี่ยนสีเขียวเข้มเป็นเขียวอมเหลือง

แทนระยะ เปลือกผลมีสีเหลืองมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และเริ่มเก็บเกี่ยว

แทนระยะ ผลแก่จัด

แนวทางการผลิตส้มนอกฤดูที่เกษตรกรนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือการกักน้ำแก่ต้นส้ม ซึ่งเกษตรกรจะนับวันย้อนกลับ โดยปกติระยะเวลาหลังจากการออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้เวลาประมาณ 9 เดือน แต่หากนับรวมกับวันที่เริ่มมีการกักน้ำจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้เวลาประมาณ 10 เดือน ดังนั้นเกษตรจึงสามารถประมาณการวันเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ แต่แนวทางการกักน้ำเมื่อนำมาใช้กับพื้นที่ปลูกในเขตจังหวัดเชียงใหม่มักไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากในเขตภาคเหนือพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นดอน หรือที่ราบเชิงเขา การจัดการการกักน้ำทำได้ยากกว่าพื้นที่ราบในเขตภาคกลาง ซึ่งพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่มักเป็นแบบยกร่องเกษตรกรสามารถกักน้ำได้ในขณะที่ใบแก่จัด โดยทำการสูบน้ำออกจากร่องสวน ต่อมาประมาณ 15 – 20 วันจะสังเกตเห็นต้นส้มแสดงอาการขาดน้ำ ใบจะเริ่มห่อเข้าหากัน หลังจากสังเกตเห็นอาการนี้เกษตรกรจะให้น้ำเต็มที่โดยปล่อยน้ำเข้าร่องสวนให้เต็มที่ให้ท่วมสูงประมาณ 10 – 20 เซนติเมตร จากพื้นดินถึงโคนต้นส้ม จากนั้นประมาณ 1 – 2 วัน จึงลดระดับลงให้น้ำอยู่ในระดับปกติก่อนทำการกักน้ำ ต้นส้มจะเกิดการแทงช่อดอกประมาณ 7 วัน หลังการให้น้ำตามปกติ (พีรเดช, 2542) ดังนั้นแนวทางนี้จึงเหมาะสมกับพื้นที่ปลูกแบบราบลุ่มมากกว่าพื้นที่ดอน นอกจากนี้วิธีการกักน้ำยังมีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถทำได้ในช่วงฤดูฝน (ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม)

แนวทางการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการผลิตส้มนอกฤดู เป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ และน่าจะเหมาะสมกับพื้นที่ปลูกส้มในจังหวัดเชียงใหม่มากกว่าวิธีการกักน้ำแก่ต้นส้ม หลักสำคัญของการผลิตส้มนอกฤดู คือ

1 ยับยั้งหรือปลิดดอก และผลในฤดูทิ้ง เพราะดอกและผลชุดนี้จะพัฒนาเป็นผลผลิตที่เก็บเกี่ยวในฤดู ดังนั้นต้องยับยั้งหรือปลิดทิ้ง เพื่อให้ต้นได้เตรียมพร้อมในการบังคับการออกดอกชุดใหม่ต่อไป ทั้งนี้ต้องมีการกระตุ้นการเกิดใบชุดใหม่ควบคู่ไปด้วย เพราะใบที่ชักนำให้ออกมาใหม่นั้นจะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าใบชุดเก่า (สมบุญ, 2544) ทำให้ปริมาณอาหารสะสมในต้นมีเพียงพอต่อการพัฒนาการต่อไปได้

2 ชักนำการออกดอกและติดผล หลังจากกระตุ้นใบชุดใหม่ใบจะพัฒนาอยู่ในระยะเพสลาดและแก่จัด ซึ่งระยะนี้จะพอดีกับการกระตุ้นการออกดอก และติดผลโดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

3 เพิ่มคุณภาพผลผลิตก่อนการเก็บเกี่ยว ผลส้มที่พัฒนามาจากการติดผลของดอกชุดกระตุ้นนี้ ควรมีการเพิ่มคุณภาพผลผลิตด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ก่อนที่จะเก็บเกี่ยว เพื่อให้มีคุณภาพที่ดีเป็นที่ต้องการของตลาด

การร่วงของดอก

การร่วงเป็นกระบวนการที่ส่วนประกอบของพืชหลุดออกจากต้น พบได้ทั้งใบ ดอก ผล ในใบมักพบว่าการร่วงจะเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมหรือเกิดความเครียด (stress) เช่น เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งในเขตร้อน เข้าสู่ฤดูใบไม้ร่วงในเขตอบอุ่น สภาวะขาดน้ำ น้ำท่วม สภาพดินเค็ม อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป เป็นต้น นอกจากนี้เมื่อเข้าสู่ระยะชราภาพ (senescence) โดยเฉพาะพืชล้มลุกหลายชนิด ใบจะหลุดร่วงพร้อมกับการตายของพืชทั้งต้น ในดอก การร่วงของส่วนต่างๆ มักเกิดขึ้นหลังจากการถ่ายเรณูและการปฏิสนธิเกิดขึ้นแล้ว ดอกไม้หลายชนิดจะร่วงหากไม่เกิดการปฏิสนธิ ในขณะที่ดอกที่มีการปฏิสนธิจะพัฒนาต่อไปเป็นผล แต่ส่วนอื่นๆ เช่น กลีบเลี้ยง กลีบดอก ก้านชูเกสรเพศผู้ และเพศเมียจะร่วงไป นอกจากนั้นการร่วงของดอกอาจเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม หรือเกิดความเครียดได้เช่นเดียวกับใบ ดังนั้นการร่วงจึงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเพื่อให้พืชอยู่รอดได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม หรือเกิดขึ้นเพื่อการขยายพันธุ์ ตลอดจนกำจัดส่วนที่ไม่เป็นประโยชน์ออกไปจากต้น มีการเคลื่อนย้ายเอาอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนกลับสู่ธรรมชาติ เป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรของระบบนิเวศน์ที่มีคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะถูกหมุนเวียนกลับเข้าสู่สภาพเดิมเป็นแก๊สไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ(นิสสา, 2542) ทางการเกษตรการร่วงอาจเป็นผลดี หรือเป็นผลเสีย เช่นการร่วงของใบฝ้ายช่วยให้การเก็บเกี่ยวดอกฝ้ายทำได้ง่ายขึ้นและฝ้ายมีคุณภาพดี เช่นเดียวกับการร่วงของผลเปลือกแข็งเมล็ดเดี่ยว(nat) ช่วยให้การเก็บเกี่ยวง่ายขึ้น การร่วงของผลผลิตลำไย มะม่วง และส้ม ช่วยให้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมีคุณภาพดีขึ้น(ผดุงพงศ์ และ รวี 2549) แต่ส่วนใหญ่การร่วงของใบและส่วนอื่นๆ มักทำให้ผลผลิตลดลง เพราะเกิดความสูญเสียส่วนที่พืชใช้สังเคราะห์แสงหรือสูญเสียส่วนที่สามารถจำหน่ายได้ไป

การชักนำให้เกิดการร่วงสามารถปฏิบัติได้หลายวิธี เช่น การปลิดทิ้งด้วยมือเป็นวิธีที่ง่ายแต่ต้องใช้ระยะเวลานานและมีค่าใช้จ่ายที่สูง การปลิดทิ้งด้วยเครื่องจักรกลโดยเครื่องเขย่ากิ่ง ซึ่งมักใช้ได้ผลกับท้อและพลับ แต่มีผลเสียที่แรงของเครื่องเขย่ากิ่งที่อาจทำให้กิ่งได้รับการกระทบกระเทือนจนเกิดบาดแผลฉีกขาดและต้องดำเนินการ โดยผู้ที่มีความชำนาญในการใช้เครื่องจักร ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการใช้วิธีนี้ ดังนั้นการชักนำการร่วงด้วยการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหรือสารเคมีเกษตรน่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด สารควบคุมการเจริญเติบโตที่ขึ้นทะเบียนการค้าเพื่อใช้ในการชักนำการร่วงของดอก และผลมีหลายชนิด เช่น dinitro-ortho-cresol (DNOC: Elgetol), naphthaleneacetic acid (NAA), 3-Chlorophenoxypropionic acid (3-CPA), 1-Naphthyl, 1-naphthyl methylcarbamete (cardaryl: Sevin) และ naphthalene acetamide (NAAm) เป็นต้น สารเคมีดังกล่าวส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มออกซินสามารถเคลื่อนย้ายโดยผ่านทางท่ออาหารไปยังจุดที่

มีกิจกรรมจึงจะเกิดผล ทำให้ชั้นเซลล์แยกและร่วงออกจากขั้วดอกหรือผล ซึ่งต้องได้รับสารดังกล่าวในปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสม นอกจากนี้อาจมีผลกระทบข้างเคียงอาจเกิดขึ้นจากการใช้ NAA และ NAAm ในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้ขนาดของผลลดลงและเกิดผลที่เคระแกรนส่วน 3-CPA อาจทำให้เกิดการเหี่ยวเฉา หรือแสดงอาการใบห่อ ถ้าอัตราความเข้มข้นสูงจะทำให้ขอบใบไหม้หรือเกิดปุ่มปม (Schneider and Scarborough, 1960)

NAA (1-naphthaleneacetic acid) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เช่น เร่งการเกิดราก กระตุ้นการเจริญเติบโตและป้องกันการร่วงของผลผลิตหลายชนิด เปลี่ยนเพศดอกเงาะ ทารอยแผลหลังตัดแต่งกิ่งเพื่อป้องกันการแตกหน่อ NAA เป็นสารที่มีราคาค่อนข้างต่ำ ถ้าเป็นสารบริสุทธิ์จะเป็นผลึกสีขาว ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ แต่ละลายได้น้อยในน้ำ NAA ที่นำมาใช้ในทางการเกษตรมักอยู่ในรูปเกลือโซเดียม(Sodium naphthylacetate) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี การใช้ NAA มักใช้วิธีการพ่นทางใบ หรือให้สัมผัสกับดอกและผลโดยตรง NAA สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อ ใบ ดอก และผลได้ดี และสามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปภายในท่ออาหาร ซึ่งมีการเคลื่อนที่ผ่านไปยังส่วนต่างๆ ได้พร้อมกับอาหารที่พืชสร้างขึ้นในสภาพที่มีอากาศชื้นและอุณหภูมิสูงจะช่วยส่งเสริมการดูดซึมและเคลื่อนย้ายภายในพืช จากการทดลองพ่น NAA เพื่อชักนำให้เกิดการร่วงของดอกและผลมะนาวบริเวณช่อดอก และผลอ่อน เพื่อกำจัดผลผลิตชุดในฤดูมีจำนวนมากและราคาต่ำ ไม่คุ้มค่าในการปฏิบัติจัดการสวน พบว่าที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ดอก และผลร่วงได้ (ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร, 2548) การให้ออกซินจากภายนอกอาจได้ผลตรงข้าม เช่น อาจกระตุ้นให้เกิดการหลุดร่วงของใบมากขึ้น โดยทั่วไปการให้ออกซินแก่ใบพืชหากให้ที่ความเข้มข้นต่ำ มีผลยับยั้งการหลุดร่วงของใบ แต่ถ้าให้ความเข้มข้นสูงขึ้นจะกระตุ้นการร่วงให้เกิดมากขึ้น การศึกษาการใช้ N-1-napthylphthalamic acid (NPA) ในแอปเปิล ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งการเคลื่อนย้ายของออกซิน พบว่าออกซินมีผลกระตุ้นการพัฒนาระบบท่อลำเลียงในก้านผล ทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ และลำเลียงน้ำได้ดี ถ้าขาดออกซิน เช่น ในกรณีที่ผลตามธรรมชาติมีขนาดเล็ก หรือเมื่อใช้ NPA ยับยั้งการลำเลียงออกซินจากผลมาที่ก้านใบจะทำให้ขนาดของท่อน้ำเล็กลง และผลหลุดร่วงมากขึ้น เมล็ดมีขนาดเล็กลง ถึงแม้ว่าเมล็ดจะมีจำนวนและมีชีวิตเท่าเดิม (Iglesias *et al.*,2007)

เอทิฟอน (2-chloroethyl phosphonic acid, Ethephon) เป็นสารที่สามารถปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนออกมาได้ เอทิฟอนบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็งคล้ายขี้ผึ้ง สีขาว ละลายได้ทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ไม่ระเหยและไม่ติดไฟ สารที่ผลิตออกมามีทั้งรูปสารละลาย และรูปครีม ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีความเข้มข้นต่างกันไป การให้เอทิฟอนกับพืชในรูปสารละลายทำได้โดยการพ่นให้ทั่วต้น หรือพ่นเฉพาะจุดที่ต้องการ สารสามารถแทรกซึมและเคลื่อนย้ายไปในพืชได้โดยผ่าน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ทางท่ออาหาร จึงสามารถเคลื่อนที่จากใบแก่ไปยัง ยอดอ่อน ดอก และผลได้ การให้เอทิฟอนในรูปครีมซึ่งใช้เฉพาะเร่งการไหลของน้ำยาง เอทิฟอนใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในการเร่งดอกสับปะรดให้ออกดอกพร้อมกัน เพื่อความสะดวกในการเก็บเกี่ยวผลผลิต และการดูแลรักษา นอกจากนี้ใช้เร่งสี และเร่งการแก่ของผลมะเขือเทศสำหรับแปรรูปเพื่อความสะดวกในการเก็บเกี่ยวเช่นกัน เกษตรกรหลายรายในประเทศไทยใช้สารเอทิฟอนในการบ่มผลไม้ เช่น กล้วย ละมุด มะละกอ ซึ่งทำให้ผลสุกเร็วขึ้น และสุกพร้อมกัน เอทิฟอนจัดว่าเป็นสารพิษระดับปานกลาง จะคงตัวอยู่ได้โดยไม่สลายตัวเมื่ออยู่ในสภาพกรดจัด และจะเริ่มสลายตัวให้แก๊สเอทิลีนเมื่อมีความเป็นด่างมากขึ้น ดังนั้นสารที่ผลิตออกมาจำหน่ายจึงใช้กรดเข้มข้นเป็นตัวทำละลาย ซึ่งถ้านำมาผสมน้ำจะทำให้ความเป็นด่างเพิ่มขึ้นและเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็ว จึงไม่ควรนำเอทิฟอนมาผสมน้ำทิ้งไว้นานเกิน 24 ชั่วโมง การใช้เอทิฟอนจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ อย่าให้สารละลายเข้มข้นสัมผัสกับผิวหนังหรือเข้าตา เนื่องจากกรดที่ใช้เป็นตัวทำละลายสามารถก่อให้เกิดอันตรายได้ กรดดังกล่าวยังมีผลในการกัดกร่อนภาชนะโลหะที่ใช้พ่นสาร ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายดังกล่าวจึงควรใช้ภาชนะชนิดอื่นแทนโลหะ การใช้เอทิฟอนสามารถทำให้เกิดการร่วงได้ โดยการพ่นช่อดอกและผลอ่อนมะนาวพันธุ์แป้น ที่ความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิลิตรต่อลิตร ทำให้เกิดการร่วงสูงสุด (บัณฑิต และรวี, 2547) ในขนาดที่การพ่นเอทิฟอนที่ความเข้มข้น 800 และ 1,600 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ช่อดอกมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ทำให้เกิดการร่วงของดอก และเกิดการผลิช่อใบขึ้นใหม่ (วีรชัย, 2538) กรณีการพ่นเอทิฟอนความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ถั่วพิสตาชิโอ ร่วงได้ดีกว่า การพ่นด้วย NAA ความเข้มข้น 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร และยูเรีย 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (Rahemi and A. Ramezanian, 2007) นอกจากนี้การพ่นเอทิฟอนความเข้มข้น 1,000 – 1,500 มิลลิลิตรต่อลิตร แก่แอปเปิล ในวันที่ 12 – 26 วัน หลังดอกบาน เป็นสาเหตุให้เกิดการร่วงของผลอ่อน (Byers, 1993)

การออกดอก

เมื่อพืชเจริญเติบโตในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม พืชหลายชนิดจะมีการพัฒนา โดยการสร้างดอก ผล และเมล็ด เพื่อการขยายพันธุ์ต่อไป ในขณะที่พืชมีเปลี่ยนแปลงการเจริญทางด้านลำต้น กิ่ง ใบ หรือ ด้านวัฒนภาค (vegetative growth) ไปเป็นการเจริญเติบโตด้านเจริญพันธุ์ (reproductive growth) พืชจะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาหลายอย่าง โดยปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอก ในสภาวะที่ปัจจัยทั้ง 2 ด้านเหมาะสม พืชจะมีการสร้างดอกได้ ซึ่งถือว่าดอกเป็นส่วนสำคัญของพืช เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาเป็นผล เมล็ดจนกระทั่งการขยายพันธุ์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 22 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 150791
เลขเรียกหนังสือ

การออกดอกต้องอาศัยกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สลับซับซ้อน โดยมีปัจจัยภายในและภายนอกมาเกี่ยวข้อง เพื่อเปลี่ยนแปลงพืชจากระยะเยาวภาพ (juvenile phase) ไปเป็นระยะเต็มวัย (mature phase) เมื่อสิ่งแวดล้อมเหมาะสม พืชจะถูกกระตุ้นให้สร้างดอกได้ ซึ่งเป็นระยะเจริญพันธุ์ กระบวนการเกิดและพัฒนาของดอกแบ่งออกเป็นระยะต่างๆ ดังนี้

1. ระยะเจริญเต็มวัย (maturation stage) โดยทั่วไปพืชจะออกดอกได้เมื่อเจริญเต็มวัย (mature) ซึ่งมีความพร้อมของอายุ นอกเหนือจากอาหารสะสม และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม พืชจึงตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ ที่กระตุ้นให้ออกดอกได้ ระยะที่พืชโตเต็มวัยจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พืชที่มีช่วงอายุการออกดอกค่อนข้างคงที่ในระยะเวลาที่สั้น เช่น ถั่วเขียวออกดอกเมื่ออายุประมาณ 5 สัปดาห์ สับปะรดออกดอกเมื่อมีอายุไม่น้อยกว่า 8 เดือนหลังการปลูกด้วยหน่อ ส่วนพวกไม้ยืนต้นซึ่งมีการเจริญทางกิ่ง ใบ สลับกับการออกดอก มักมีระยะเยาวภาพนานก่อนออกดอก เช่น มะม่วง จะออกดอก 3 – 5 ปี หลังจากปลูกด้วยเมล็ด

2. ระยะชักนำ (induction stage) เป็นการเปลี่ยนแปลงขั้นแรกของการออกดอก พืชเริ่มมีการตอบสนองต่อปัจจัยกระตุ้น หรือการชักนำต่างๆ ที่ทำให้ระยะวัฒนภาคเปลี่ยนเป็นระยะเจริญพันธุ์ เป็นระยะที่พืชมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการสร้างสารเมแทบอไลท์ต่างๆ ภายในเซลล์ เพื่อสังเคราะห์ฮอร์โมนที่กระตุ้นการออกดอก และลำเลียงฮอร์โมนนี้ไปยังส่วนเนื้อเยื่อที่ตา หรือยอดเพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นตาดอก

3. ระยะการเกิดตาดอก (initiation of floral primordia) เป็นระยะที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของตาดอกที่จะเจริญเป็นดอก (floral primordia) โดยเซลล์เนื้อเยื่อเจริญเริ่มขยายตัว ทำให้มีการขยายตัวของตาดอก

4. ระยะพัฒนาของดอก (floral development) ระยะที่มีการเกิดส่วนอื่นๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นดอก โดยตาดอกมีการพัฒนาการเปลี่ยนรูปร่าง สร้างกลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรเพศผู้ เกสรเพศเมีย และฐานรองดอก โดยทั่วไปชั้นของกลีบเลี้ยงจะเจริญขึ้นมาก่อนส่วนอื่น ตามด้วยชั้นของกลีบดอก เกสรเพศผู้และเกสรเพศเมีย

ปัจจัยที่ผลต่อการออกดอก

การสร้างดอกถูกควบคุมด้วยปัจจัยต่างๆ ทั้งปัจจัยภายในพืชและสภาพแวดล้อมของพืช ได้แก่

1. แสง เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสร้างอาหารของพืช โดยทั่วไปพืชส่วนใหญ่ต้องการความเข้มแสงปริมาณที่สูง ในการออกดอก ซึ่งจะมีผลต่อการสะสมอาหารในพืช ช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการสร้างดอกของพืชหลายชนิด พืชแต่ละชนิดต้องการความยาวช่วงแสงต่างกัน

ไป ทำให้สามารถแบ่งพืชตามการตอบสนองต่อช่วงแสงซึ่งมีผลต่อการออกดอกของพืชเป็น พืชวันสั้น และพืชวันยาว และพืชไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง

2. อุณหภูมิ มีผลต่อการออกดอก โดยเฉพาะพืชเขตหนาวต้องการอุณหภูมิที่ต่ำในการกระตุ้นการสร้างตาดอก หรือขจัดการพักตัวของตาดอกในพืช ส่วนพืชเขตร้อนหลายชนิด ต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วง 10 – 20 องศาเซลเซียส เพื่อกระตุ้นการสร้างตาดอก พืชบางชนิด เช่น เงาะ ขนุน มะขาม ทุเรียน การสร้างตาดอกไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเลย

3. น้ำ ปริมาณน้ำในดินมีผลต่อการออกดอกของพืช ในสภาพที่พืชขาดน้ำ หรือเกิดความเครียดในพืช จะมีการชักนำให้สร้างตาดอก แต่ในระยะการเจริญของตาดอก ถ้าพืชเกิดการขาดน้ำมากเกินไป ทำให้ตาดอกนั้นไม่สามารถเจริญต่อไปได้ กระบวนการสร้างตาดอกจะหยุดชะงักจนกว่าจะได้รับน้ำ

4. ชนิดและพันธุ์ ลักษณะพันธุกรรมเป็นตัวกำหนดการแสดงออกที่แตกต่างของพืชแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ ถึงแม้จะปลูกในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน แต่ความสามารถในการออกดอกของพืชแต่ละพันธุ์ แตกต่างกันไปด้วย

5. อายุพืช พืชมีการเจริญเติบโตทางด้านกิ่ง ใบ จากระยะเยาวภาพไปเป็นระยะเต็มวัย ถึงช่วงอายุที่เหมาะสมจึงมีการสร้างดอก อายุพืชมีความสัมพันธ์ต่อขนาดต้นพืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับสารชีวเคมีในพืชโดยตรง คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง และสะสมในพืชมีผลต่อการออกดอกโดยตรง

6. ปริมาณอาหารในพืช หรืออาหารสะสม (TNC) สมมุติฐานหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการออกดอก คือการออกดอกของพืชถูกควบคุมโดยปริมาณธาตุอาหารในพืช โดยเชื่อว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์โบไฮเดรต และไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นปัจจัยสำคัญในการออกดอก แต่สมมุติฐานนี้ไม่เป็นที่ยอมรับ เนื่องจากการวัดปริมาณ C/N ratio ได้วัดรวมทั้งคาร์บอนที่เป็นวัตถุดิบพลังงาน และคาร์บอนในส่วนเป็นเป็นโครงสร้างด้วย สำหรับไม้ผลมีการศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรต ต่อการออกดอก การชักนำการออกดอกของลิ้นจี่ไม่ต้องการปริมาณ TNC ในระดับสูง อย่างไรก็ตามในต้นลิ้นจี่ที่เกิดตาดอกแล้ว จะมีปริมาณแป้งในทุกส่วนของต้น สูงกว่าต้นที่กำลังเริ่มแตกใบอ่อน นอกจากนี้ปริมาณ TNC จะเพิ่มขึ้นในใบหรือยอด (stem apex) ในช่วงก่อนการออกดอกหรือแตกใบอ่อน ในขณะที่ระดับไนโตรเจนไม่ได้ลดหรือเพิ่มขึ้น (Chaitrakulsup, 1981) สอดคล้องกับการศึกษาของ Scholefield *et al.* (1994) พบว่าปริมาณ TNC ในช่วงพัฒนาดอกอาโวกาโดมีปริมาณสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบในช่วงแตกใบอ่อน การศึกษาปริมาณ TNC ในลำไย ช่วงการแตกใบอ่อน พบว่าปริมาณ TNC ในสัปดาห์ที่ 8 – 4 ก่อนการแตกใบอ่อนมีปริมาณคงที่ จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่มีการแตกใบอ่อน ช่วงก่อนการออกดอกปริมาณ TNC ยอดค่อนข้างคงที่ในสัปดาห์ที่ 8 –

6 และเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 หลังจากนั้นจะลดลงในสัปดาห์ที่ 2 ก่อนการออกดอก (วันทนา, 2544)

7. สารกระตุ้นการออกดอก การรับสัญญาณจากสภาพแวดล้อมของพืช มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปรับตัวด้านการเจริญเติบโต ส่วนที่รับสัญญาณจากสภาพแวดล้อมคือ ใบ ซึ่งมีการตอบสนองโดยการผลิตสารบางชนิดและเคลื่อนย้ายสารนี้ไปสู่ยอด ซึ่งใบพืชเพียงใบเดียวก็สามารถสร้างสารที่กระตุ้นให้เกิดการออกดอกได้ หากให้ใบเพียงใบเดียวของต้นพืชได้รับช่วงแสงที่ต้องการ ส่วนใบที่เหลือไม่ได้รับช่วงแสงที่ต้องการ พบว่าพืชทั้งต้นยังสามารถออกดอกได้สารที่กระตุ้นให้เกิดการออกดอกที่สร้างที่ใบว่า ฟลอริเจน (florigen) ซึ่งจะสร้างในใบภายใต้สภาพความยาวของวันที่เหมาะสม ซึ่งยังไม่มีผู้ใดสามารถแยกสารฟลอริเจนได้ ในปัจจุบันพบว่ามีฮอร์โมนพืชที่สามารถกระตุ้นให้พืชออกดอกได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจง เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และเอทธิลีน เป็นต้น มีแนวความคิดเกี่ยวกับการออกดอกโดยการกระตุ้นของสารฟลอริเจน ว่า ฟลอริเจนอาจเป็นเพียงชื่อเท่านั้น แต่ตัวสารอาจเป็นฮอร์โมนชนิดใดชนิดหนึ่งหรือเป็นฮอร์โมนพืชหลายๆ ชนิดที่มีความสมดุลระหว่างฮอร์โมนพืช

8. ธาตุอาหาร ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต พืชจำเป็นต้องได้รับปริมาณธาตุอาหารอย่างเหมาะสมเพื่อการดำรงชีวิตให้ครบวงจร อัตราส่วนของไนโตรเจนและคาร์โบไฮเดรต (C/N ratio) เป็นตัวส่งเสริมการเจริญทางกิ่งใบ หรือการพัฒนาการสร้างดอก แต่ยังมีปัจจัยอื่นที่ช่วยสนับสนุนการออกดอกของพืช ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตหรือสารประกอบคาร์บอนในพืชมีปริมาณที่สูง ร่วมกับการได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จะกระตุ้นการเกิดตาดอกของพืช (สมบุญ, 2544) รายงานเพิ่มเติมเกี่ยวกับธาตุอาหารบางธาตุ การราดสารโพแทสเซียมคลอเรตให้กับลำไยในช่วงก่อนการออกดอก ทำให้เปอร์เซ็นต์การออกดอกสูงขึ้น และสัดส่วนของธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะสัดส่วน C/N ratio หากมีปริมาณสูงพืชส่วนใหญ่ก็จะออกดอก (นิตย์, 2541) อย่างไรก็ตามบทบาทของธาตุอาหารที่สำคัญ คือช่วยในการพัฒนาอวัยวะส่วนต่างๆของดอก มากกว่าชักนำการออกดอก ซึ่งการชักนำการออกดอกจะเกิดได้ด้วยบทบาทของความสมดุลฮอร์โมนพืชมากกว่า พืชทั่วไปจำเป็นต้องได้รับธาตุอาหาร 16 ธาตุเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของพืช และช่วยในกระบวนการเมทาบอลิซึม การแบ่งธาตุอาหารตามบทบาทหน้าที่ทางชีวเคมีสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม (Taiz and Zeiger, 2006)

กลุ่มที่ 1 ธาตุอาหารที่ส่วนประกอบในสารประกอบคาร์บอน ไดแก่ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ซึ่งมีความจำเป็นมากเนื่องจาก 2 ธาตุนี้เป็นส่วนประกอบของอินทรียสารที่สำคัญในปฏิกิริยาเคมีโดยเฉพาะไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน เอไมด์ โปรตีน กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์ เอนไซน์ เป็นต้น ส่วนซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบของ ซิสเตอีน ซิลทีน เมไทโอนีน เป็นต้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

กลุ่มที่ 2 ธาตุอาหารที่มีความสำคัญในการสร้างพลังงานสะสม หรือเป็นองค์ประกอบโครงสร้างเซลล์ ได้แก่ ฟอสฟอรัส ซิลิเนียม และโบรอน ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ sugar phosphate นิวคลีอิก เอนไซม์ร่วม (coenzyme) ฟอสโฟลิพิด กรดไฟทิก รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาการสร้างสารพลังงานสูง (ATP) ธาตุซิลิกอน พบมากในส่วนของผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์คงรูปร่าง การยืดหยุ่นของเซลล์ ธาตุโบรอนอยู่ในสารประกอบของน้ำตาลต่างๆ เช่น แมนิทอล แมนแนน และเป็นส่วนประกอบของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในผนังเซลล์

กลุ่มที่ 3 ธาตุอาหารที่อยู่ในรูปไอออน ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม คลอรีน แมงกานีส และโซเดียม ธาตุโพแทสเซียมเป็นองศ์ประกอบร่วมของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด ช่วยให้เซลล์เต่ง ธาตุแคลเซียม เป็นส่วนประกอบในมิลเดิลลาเมลลา เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ในการสร้างสารพลังงานสูง ธาตุแมงกานีสเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบอนการ phosphate transfer และเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างคลอโรฟิลด์ ธาตุคลอรีนมีความสำคัญในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ธาตุแมงกานีส มีบทบาทต่อการเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส ดีคาร์บอกซีเลส ไคเนส ออกซิเดส และเพอออกซิเดส รวมทั้งปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ธาตุโซเดียมทำให้เกิดการสร้าง phosphoenolpyruvate ในพืช C_4 และในพืชทนแล้ง (CAM plants)

กลุ่มที่ 4 ธาตุอาหารที่เกี่ยวกับกระบวนการรีดอกซ์ ได้แก่ เหล็ก สังกะสี ทองแดง นิกอน และโมลิบดินัม ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบใน cytochomes และ iron protine ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ธาตุสังกะสีเป็นองค์ประกอบใน alcohol dehydrogenase, glutamic dehydrogenase, cardonic dehydrogenase, ธาตุทองแดง เป็นองค์ประกอบใน ascorbic acid dehydrogenase, tyrpsinaes, monoamine oxidase, uricase, cytochom oxidase, laccase, และ plastocyanim ธาตุนิกอนเป็นองค์ประกอบในเอนไซม์ยูเรเอส เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส ธาตุโมลิบดินัม เป็นองค์ประกอบในเอนไซม์ nitrogenase, nitrete reductase และ xentine dehydrogenase

การแบ่งธาตุอาหารตามความต้องการของพืชแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

ธาตุอาหารหลัก (marcronutrients) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมี 10 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซิลิกอน และกำมะถัน ธาตุไนโตรเจน และคาร์บอน เป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติ พืชจะได้รับจากน้ำและอากาศ ส่วนธาตุที่เหลือพืชได้รับจากดิน หรือการให้ธาตุเหล่านี้โดยตรงในรูปของปุ๋ย

ธาตุอาหารรอง (micronutrients) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย ก็เพียงพอต่อการดำรงชีพ มี 9 ธาตุ ได้แก่ โบรอน เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โซเดียม โม

ลิบดินัม คลอรีน และนิเกิล ส่วนใหญ่พืชต้องการในปริมาณที่น้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งพืช

7.1 ธาตุไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเป็นธาตุหลักที่พืชต้องการในปริมาณสูง รากพืชดูดไนโตรเจนมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรท (No^{-}_{3}) และเกลือแอมโมเนียม (NH^{+}_{4}) ในระยะที่พืชพัฒนาดอกและผล การให้ปุ๋ยไนโตรเจนทางดิน ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโน และเอไมด์ เคลื่อนย้ายจากรากไปยังดอก หรือผลที่กำลังพัฒนา (ยุทธนา และคณะ, 2548) สำหรับยูเรียแม้ว่าพืชจะดูดไปใช้ได้โดยตรงแต่สารนี้มีอยู่ในธรรมชาติน้อย พืชจึงดูดใช้มากในกรณีที่มีการปุ๋ยยูเรียสังเคราะห์ (ยงยุทธ, 2546) พืชชั้นต่ำบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญทางการเกษตร คือ แบคทีเรียไรโซเบียม (*Rhizobium*) เพราะสามารถตรึงไนโตรเจนจากในอากาศได้ เมื่ออยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่ว สารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบแบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม คือ โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน กรดนิวคลีอิก สารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสม และ สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) เอนไซม์ร่วม (coenzyme) เช่น NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) และNADP (nicotinaminde adenine dinucleotinde phosphate) nucleic acid ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้จะแตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะและการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ในระดับ 2 – 5 % โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชได้รับธาตุนี้ต่ำกว่าระดับปกติย่อมมีการเจริญเติบโตที่น้อยลง อาการขาดธาตุจะปรากฏชัดเจนที่ใบแก่ เนื่องจากไนโตรเจนเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา ทำให้ใบแก่หลุดร่วงเร็ว หากปุ๋ยไนโตรเจนมีอัตราสูงจะช่วยยืดอายุใบแก่ และยังกระตุ้นให้ใบพืชเจริญเติบโตต่อไปได้อีก (ยงยุทธ, 2543)

ไนโตรเจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานของพืช คือ เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนมากตั้งแต่ระยะแรก ส่วนเหนือดินจะเจริญเร็วแต่รากเจริญช้า ดังนั้นช่วงต่อมารากย่อมดูดน้ำและอาหารได้น้อยกว่าความต้องการของพืช การเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินไป ทำให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมหลายด้าน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางด้านองค์ประกอบทางเคมี เนื่องจากต้องแย่งใช้สารที่ได้จากการสังเคราะห์แสง หากมีการเพิ่มไนโตรเจนจนถึงระดับที่เพียงพอการใช้ประโยชน์แอมโมเนียมมีอัตราสูงขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีน ค่าดรรชนีพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI) และการสังเคราะห์แสงสุทธิ หากเพิ่มดรรชนีพื้นที่ใบให้สอดคล้องกับการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตต่อไร่มีปริมาณเพิ่มขึ้น (Marschner and Kirkdy 1995) แต่หากเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปการดึงเอาโครงสร้างคาร์บอนมาสังเคราะห์กรดอะมิโน และเอไมด์ก็จะมากขึ้น แต่เนื่องจากใบหนาขึ้น และเกิดการบดบังแสงกันเอง ทำให้อัตราการการ

สังเคราะห์แสงสุทธิไม่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนไป

7.2 ฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีความสำคัญ ต่อพืชมากมาย เช่น นิวคลีโอโปรตีน กรดไนตริก กรดนิวคลีอิก และโคเอนไซม์ บางชนิดเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ บทบาทที่สำคัญของฟอสฟอรัส คือ เป็นองค์ประกอบกระบวนการเมทาบอลิซึมของพลังงาน โดยเฉพาะ ATP, ADP, NADP การขาดฟอสฟอรัสในช่วงการออกดอก ทำให้การพัฒนาดอกไม่สมบูรณ์ จำนวนดอกมีน้อย (พาวิน, 2543) นอกจากนี้หากเกิดการขาดฟอสฟอรัสในช่วงที่อุณหภูมิสูงสลับกับอุณหภูมิต่ำ ตาดอกที่กำลังพัฒนาอาจเปลี่ยนเป็นตาใบได้ โดยทั่วไปพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3 – 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อการเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาคเป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่เป็นพิษคือสูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสจะมีผลต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ อัตราการหายใจจะลดลง เกิดการสะสมของคาร์โบไฮเดรต หลังจากนั้นใบพืชจะมีสีเขียวเข้ม เกิดการสะสมของรงควัตถุแอนโทไซยานิน ที่ลำต้นและก้านใบ นอกจากนี้การขาดฟอสฟอรัสยังมีผลต่อระยะเจริญพันธุ์ ทำให้เกิดการออกดอกที่ล่าช้าและจำนวนผลผลิตลดลง ฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ส่วนใหญ่ในรูปสารอินทรีย์พวกไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO^{-2}_4$) ชนิดของไอออนขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (pH) ของดิน ดินที่มีค่าpH ต่ำกว่า 7 ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ แต่ถ้าดินมีค่า pH สูงกว่า 7 มักอยู่ในรูป $H_2PO_4^{-2}$ ฟอสฟอรัสไอออนในดินมักถูกยึด (absorb) โดยเฉพาะอนุภาคของดินเหนียวทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ หรืออาจรวมตัวกับธาตุอื่นๆ ในดิน ในสภาพดินที่มีค่า pH สูงหรือต่ำเกินไปทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปแบบที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ (สมบุญ, 2538) ในสภาพดินมีค่า pH สูง จะมีไอออนประจุบวก เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมมาก ทำให้ฟอสฟอรัสไอออนรวมตัวกับประจุบวกเหล่านี้ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่วนดินที่มีค่า pH ต่ำ ธาตุอะลูมิเนียม และเหล็กจะมีมากในดิน เกิดการรวมตัวกับฟอสเฟตไอออน ทำให้เกิดตะกอนของอะลูมินัมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

7.3 โพแทสเซียม มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลไปยังดอกที่กำลังพัฒนาและช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง หากขาดธาตุโพแทสเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่นเกิดการสะสมคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ลดปริมาณแป้ง และเพิ่มการสะสมสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ โพแทสเซียมมีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีนของพืชชั้นสูง นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการสังเคราะห์แสง คือควบคุมให้ปากใบเปิดปิดเมื่อมีแสงจึงช่วยให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ปากใบได้สะดวก ช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์ ATP ในกระบวนการ phosphorylation เมื่อพืชเกิดการขาดน้ำ การเคลื่อนย้ายของ K^+ ผ่านเยื่อหุ้ม

คลอโรพลาสต์จะชะงักทำให้กระบวนการ photophosphorylation ติดขัดอย่างรุนแรงในพืชที่ขาดโพแทสเซียม แต่มีผลกระทบน้อยกับพืชที่ปกติ โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ K^+ พืชดูดไอออนนี้แบบแอกทีฟ เมื่ออยู่ในพืชโพแทสเซียมเคลื่อนย้ายได้ง่ายมากไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ ระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อ การเคลื่อนย้ายระยะไกลทางไซเลมและโฟลเอม ในเชิงปริมาณธาตุนี้มีในพืชมากกว่าประจุบวกอื่นๆ จึงเป็นธาตุที่ทำหน้าที่ลดศักย์ออสโมซิส (osmotic potentail) ภายในเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชที่ไม่ทนเค็มทั่วไป

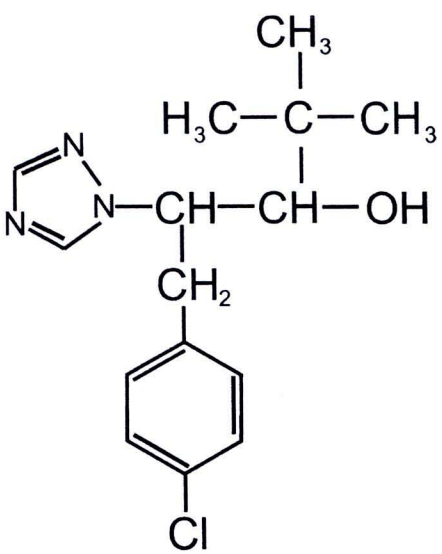
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารในใบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของส้มแต่ละชนิด

ผู้วิจัย	ชนิดส้ม	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Zn (ppm)	B (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
ภิญโญ(2539)	ส้มเขียวหวาน	>2.40	0.14 – 0.15	>1.50	-	-	-	>25	-	-	-	-
กัญญาภรณ์ และ คณะ (2541)	ส้มโชกุน	3.39 – 3.50	0.17 – 0.20	2.46 – 3.05	1.52 – 1.66	0.33 – 0.39	-	22 - 33	-	117 - 143	40 - 48	48 – 66
Chapman (1968)	Valercia	2.5 – 2.7	0.12 – 0.16	1.2 – 1.7	3.0 – 4.5	0.3 – 0.19	0.2 – 0.39	25 - 49	36 – 100	50 - 49	25 - 49	5 – 12
Embleton (1973)	Valercia and Navel	2.4 – 2.6	0.12 – 0.16	0.70 – 1.09	3.0 – 5.5	0.26 – 0.6	0.2 – 0.4	25 - 100	25 - 150	60 - 120	25 - 200	5 – 16
Chiu and Chang (1985)	Ponkan and Taukan	2.9 – 3.5	0.12 – 0.18	1.0 – 1.7	2.5 – 4.5	0.25 – 0.5	-	20	10 - 150	35	-	5
Shimizu (1985)	Satsuma mandarin	-	-	-	-	0.13	-	-	9 - 16	-	16	-
Reuter and Robinson (1986)	Valencia	2.4 – 2.6	0.12 – 0.16	0.7 – 1.2	3.0 – 6.0	0.26 – 0.6	0.21 – 0.24	25 - 100	31 - 100	60 - 120	25 - 100	25 – 100
Tandon (1993)	Sour orange	2.2 – 3.5	0.12 – 0.16	1.2 – 3.0	1.1 – 4.0	0.3 – 0.5	-	25 - 200	-	60 - 150	25 - 200	6 – 100
Wutscher and Smith (1993)	-	2.5 – 2.8	0.1 – 0.17	0.8 – 1.7	2.6 – 5.0	0.19 – 0.5	0.2 – 0.5	19 - 50	25 - 200	35 - 130	19 - 100	5 – 15

9 สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช การออกดอกของพืชมักถูกชักนำด้วย พาโคลบิวทราโซล (Paclobutrazol; PBZ) มีชื่อทางเคมีคือ (2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4, 4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl) pentan-3-ol มวลโมเลกุล 293.8 กรัมต่อโมล และมีจุดหลอมเหลวที่ 164 – 168 องศาเซลเซียส มักใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายทางการเกษตร มีโครงสร้างทางเคมีตามภาพที่ 1 ปริมาณสารตกค้างที่ยอมรับได้โดย CODEX คือ 0.1 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในอาหารที่ยอมรับได้ (MRL) ของพาโคลบิวทราโซล คือ 0.05 – 1.0 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยเฉพาะแอปเปิลต้องมีค่า MRL ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ส่วนในอะโวกาโด ต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม สารพาโคลบิวทราโซลสามารถพบการตกค้างได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไป โดยเฉพาะในดิน เมื่อมีการใช้ในปริมาณที่สูงเกินไป อาจกระจายตัวแทรกในโมเลกุลเม็ดดิน และมีอัตราการสลายตัวต่ำ การให้พาโคลบิวทราโซลกับพืชสามารถให้ทางราก ลำต้น และพ่นทางใบ โดยการเคลื่อนที่จะผ่านทางระบบท่อลำเลียง สารพาโคลบิวทราโซลใช้ได้ผลกับพืชหลายชนิด โดยจะไปยับยั้งการสังเคราะห์ จิบเบอเรลลินซึ่งมีผลทำให้ลดการเจริญด้านวัฒนภาค และนำอาหารกลับไปช่วยในการพัฒนาด้านการเจริญพันธุ์ Rossi(1998) ได้แบ่งสารชะลอการเจริญเติบโตของพืชได้ 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่แทรกแซงช่วงต้นของกระบวนการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน
- กลุ่มที่แทรกแซงช่วงท้ายของกระบวนการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน
- กลุ่มที่ยับยั้งการแบ่งตัวแบบไมโทซิส และรบกวนการแบ่งเซลล์



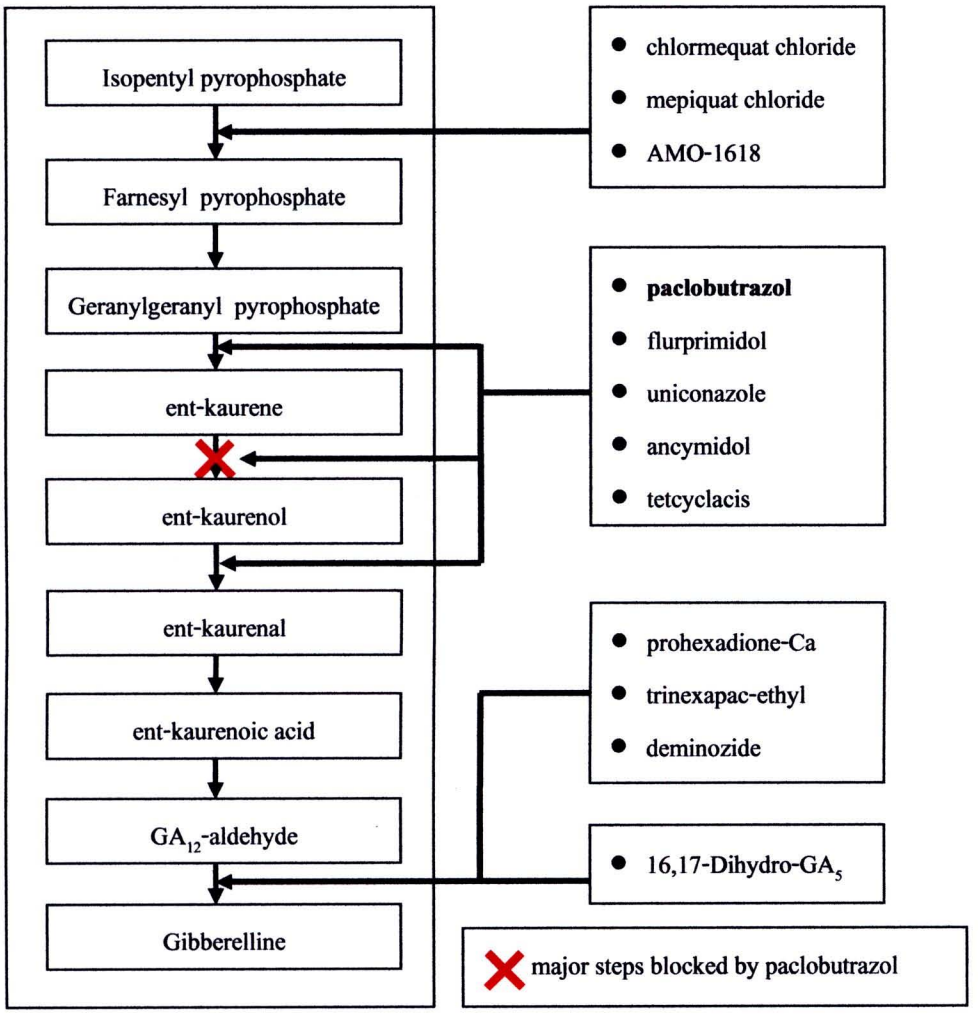
ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของพาโคลบิวทราโซล (Rademacher, 2000)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ทั้งนี้ Rademacher (2000) ได้แบ่งกลุ่มของสารพวกยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

- สารประกอบที่ยับยั้งการเกิด copalyl-diphosphate และ ent-kaurene ซึ่งเกิดในช่วงต้นของกระบวนการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน สารประกอบกลุ่มนี้ได้แก่ chlormequat chloride, mepiquat chloride, chlorphonium และ AMO-1618
- สารประกอบที่มีไนโตรเจนในโครงสร้าง heterocycle สารกลุ่มนี้จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cytochrome-P450-dependent monooxygenases ทำให้กระบวนการออกซิเดชั่น ในช่วง ent-kaurene ไปสู่ ent-kaurenoic acid ถูกยับยั้ง สารในกลุ่มนี้คือ ancymidol, flurprimidol, tetcyclacis, uniconazole-P และ inabenfide นอกจากนี้สารพาโคลบิวทราโซลยังจัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย
- สารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับ 2-oxoglutaric acid ที่เป็นสารประกอบร่วมของ dioxygenases สารกลุ่มนี้เข้ายับยั้งช่วงท้ายของกระบวนการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน โดยยับยั้งอย่างจำเฉพาะในกระบวนการ 3ss-hydroxylation สารประกอบกลุ่มนี้ได้แก่ prohexadione-Ca, trinexapac-ethyl และ deminozide
- 16,17-Dihydro-GA_5 สารนี้มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับโครงสร้างจิบเบอเรลลิน และทำหน้าที่คล้ายกับเอนไซม์ โดยจะเข้าแย่งจับบริเวณตำแหน่งทำปฏิกิริยา ทำให้ไม่เกิดผลิตภัณฑ์จิบเบอเรลลินของกระบวนการสังเคราะห์ขึ้น

สารในกลุ่ม triazole คือ dicobutrazol, ancymidol, flurprimidol, tetcyclacis, uniconazole, hexaconazol, propiconazole และ พาโคลบิวทราโซล เป็นสารพวกที่แทรกแซงช่วงต้นของกระบวนการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน โดยเข้าไปยับยั้งการทำงานของ cytochrome-P450-dependent monooxygenases สารกลุ่มนี้มีผลต่อการแสดงออกของพืชหลายอย่าง เช่น เพิ่มความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Khalil and Rahman, 1995) เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง (Archbold and Houtz, 1993) ชะลอการเสื่อมสภาพ และเพิ่มความทนทานต่อสภาวะเครียด (Basiouny and Sass, 1993; Zhu *et al.*, 2004) นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณ ABA ให้สูงขึ้น (Tafazoli and Beyl. 1993) นอกจากนี้การลดลงของปริมาณจิบเบอเรลลิน ยังส่งผลต่อความทนทานต่อสภาวะเครียด ในช่วงการเกิดอาการสะท้านหนาว (Lurie *et al.*, 1995) พาโคลบิวทราโซลเป็นสาร ที่ทำให้เกิดความทนทานต่อสภาวะเครียดได้ดีที่สุด (Wang and Steffens, 1985) และส่งเสริมให้เพิ่มปริมาณการเกิดคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Phavaphutanon *et al.*, 2000)



ภาพที่ 2 แผนผังการเข้ายับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินของสารยับยั้ง (Chaney and Bai, 2004)

การใช้พาโคลบิวทราโซลเพื่อการผลิตทางทางเกษตรสามารถใช้ได้กับพืชกลุ่มไม้ผล ธเนศ (2542) พบว่า การพ่นพาโคลบิวทราโซล ร่วมกับเอทิฟอนทางใบ แก่ต้นลำไยพันธุ์คอ ทุกความเข้มข้น ทำให้ความยาวของยอดยาวกว่าต้นที่ไม่ได้สาร (control) และมีแนวโน้มจำนวนต้นที่ออกดอกมากที่สุดรวมทั้งมีจำนวนช่อดอกเฉลี่ย 39 เปอร์เซ็นต์ โชตนา (2544) ทดลองราดพาโคลบิวทราโซลทางดิน แก่ต้นมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ อายุ 5 ปี อัตรา 6.67 กรัมต่อต้น เปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้ราดสาร (กรรมวิธีควบคุม) ในปี พ.ศ. 2540 พบว่าต้นที่ราดสารสามารถออกดอกนอกฤดูได้ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2540 ในขณะที่ต้นที่ไม่ได้ราดสารไม่ออกดอก ทำการศึกษาซ้ำในปี 2541 - 2542 โดยในปี พ.ศ. 2541 ทำการแบ่งต้นมะม่วงที่ราดสารจากปี พ.ศ. 2540 เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกราดสารซ้ำอีกส่วนหนึ่งไม่ให้สาร และในปี พ.ศ. 2542 ราดสารซ้ำในอัตราเดิมแก่ต้นที่ราดสารเพียงครั้งเดียว

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ราดสาร 2 ครั้ง โดยศึกษาเฉพาะส่วนปลายยอด พบว่าการให้สารปีเว้นปี และ 3 ปีติดต่อกัน มีผลให้ความยาวกิ่งเจริญช้ากว่า และมีเปอร์เซ็นต์การออกดอกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้ราดสาร คือ เท่ากับ 80.0 82.5 และ 67.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยต้นที่ให้สารทั้งสองกลุ่มมีการออกดอกนอกฤดูในเดือนกันยายน พ.ศ. 2542 นอกจากนี้ พบว่าการราดพาโคลบิวทราโซลสามารถทำให้เกิดการพัฒนาตาดอกขึ้นวันที่ 73 หลังการราดสาร โดยจะเกิดก่อนต้นที่ไม่ได้ราดสาร 21 วัน เช่นเดียวกับการทดลองราดพาโคลบิวทราโซล แก่ต้นมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ อายุ 8 ปี อัตรา 1 กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรใต้ทรงพุ่ม พบว่าการราดพาโคลบิวทราโซลทำให้เกิดการออกออกวันที่ 120 หลังการราดสาร มีเปอร์เซ็นต์การออกดอก 87.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงต้นที่ไม่ได้ราดสาร (กรรมวิธีควบคุม) ที่เกิดเปอร์เซ็นต์การออกดอกเพียง 70.59 เปอร์เซ็นต์ (นริสรา และ ดรุณี, 2551) การทดลองใช้พาโคลบิวทราโซล แก่ต้นมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ด้วยวิธีการราดให้ทางดิน และการพ่นให้ทางใบ ที่ความเข้มข้น 0 (กรรมวิธีควบคุม), 2.75, 5.50 และ 8.25 กรัมต่อต้น พบว่าการให้สารทั้ง 2 วิธีการทุกความเข้มข้น ทำให้ต้นมะม่วงมีเปอร์เซ็นต์การออกดอก และเปอร์เซ็นต์ดอกสมบูรณ์เพศสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต นำตัวอย่างผลผลิตมาวิเคราะห์คุณภาพ พบว่าการให้พาโคลบิวทราโซลทั้ง 2 วิธี ทุกความเข้มข้น ทำให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรต เปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวส์ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (Yeshitela *et al.*, 2004)

การทดลองราดพาโคลบิวทราโซลแก่ต้นสบู่ดำ (*Jatropha curcas*) เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต พบว่า การราดพาโคลบิวทราโซล อัตรา 0.75 1.00 1.25 และ 1.50 กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรใต้ทรงพุ่ม ทำให้แนวโน้มจำนวนช่อผลต่อต้น และจำนวนผลต่อช่อ สูงกว่าต้นที่ไม่ได้ราดสาร (กรรมวิธีควบคุม) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดสบู่ดำซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ประโยชน์ในการสกัดน้ำมัน พบว่าการราดพาโคลบิวทราโซล อัตรา 1.25 กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรใต้ทรงพุ่ม ทำให้มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดต่อผลสูง และการราดสารทุกความเข้มข้นยังทำให้มีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (Ghosh *et al.*, 2010)

การเพิ่มคุณภาพผลผลิต

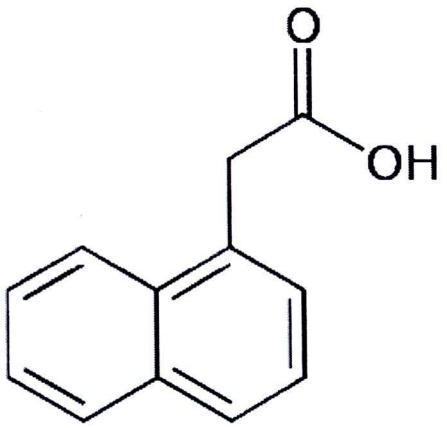
คุณภาพผลผลิตส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง เป็นปัจจัยสำคัญต่อการจำหน่ายผลิตผลของเกษตรกร ผู้บริโภคย่อมมีความต้องการผลผลิตที่มีคุณภาพ ได้มาตรฐาน และปลอดภัย ซึ่งจะเป็นแรงจูงใจที่สำคัญต่อการสร้างอำนาจการต่อรองในการจำหน่ายผลผลิตของเกษตรกร(พิทยา และคณะ, 2552) การเพิ่มคุณภาพผลผลิตส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจึงเป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตที่สำคัญ คุณภาพผลผลิตสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยการผลิตต่างๆ เช่น ความสมบูรณ์ของต้น โรคและแมลงศัตรูพืช

พันธุ์ อายุต้น การจัดการสวน ฯลฯ กระบวนควบคุมปัจจัยการผลิตจึงเป็นภารกิจที่สำคัญในการเพิ่มคุณภาพผลผลิต โดยเฉพาะการควบคุมปัจจัยการผลิตที่สามารถควบคุมได้

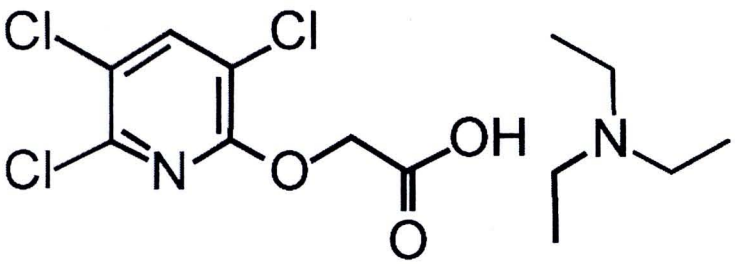
แนวทางการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่เพียงเฉพาะ ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง ไม้ผลชนิดอื่น เช่น มะม่วง ลิ้นจี่ ลำไย แอปเปิล เป็นต้น มีการใช้แนวทางนี้ในการควบคุมคุณภาพผลผลิต คุณภาพผลผลิตส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งสามารถแบ่งตัวบงชี้ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะภายนอก เช่น ขนาด และน้ำหนักผล ความหนาเปลือก ความแน่นเนื้อ สีผิว ลักษณะภายใน เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชนิดสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อชนิดพืช อัตราและวิธีการใช้ ระยะการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (สมบุญ, 2538)

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดลองนี้ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่มออกซิน ได้แก่ NAA (1-naphthaleneacetic acid) และ 3,5,6-TPA (3,5,6-trichloro-2-pyridyloxyacetic acid) ออกซินเป็นฮอร์โมนที่พืชสามารถสร้างขึ้นได้เองตามธรรมชาติ มีผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ส่วนที่สร้างออกซินในพืชได้แก่ บริเวณเนื้อเยื่อเจริญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปลายยอด ตาที่กำลังเจริญ ใบอ่อน และเอ็มบริโอที่กำลังเจริญก็มีการสร้างออกซินมากเช่นกัน ออกซินในปริมาณน้อย มีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยปกติพืชจะมีการสร้างฮอร์โมนอยู่เสมอ ถ้าปริมาณออกซินในพืชมีมากเกินไป จะเป็นอันตรายต่อพืช ดังนั้นพืชมีวิธีรักษาระดับออกซินไม่ให้มีมากเกินระดับที่ต้องการโดย เช่น ยึดเกาะกับโมเลกุลของสารอื่นในไซโตพลาซึม เปลี่ยนเป็นสารอนุพันธ์ต่างๆ สลายตัวโดยกิจกรรมของเอนไซม์ และถูกขับออกจากพืช การเคลื่อนย้ายของออกซินเป็นแบบอย่างมีทิศทาง และเคลื่อนย้ายจากปลายยอดสู่ด้านฐาน เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบเบซิเพทอล (basipetal movement) ออกซินสามารถเคลื่อนที่จากที่ซึ่งมีความเข้มข้นต่ำไปสูง ความเร็วในการเคลื่อนย้ายออกซินในลำต้นประมาณ 5 – 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าอัตราแพร่ถึง 10 เท่า และจำเป็นต้องอาศัยพลังงานในการเคลื่อนย้ายออกซินในพืช สารที่ใช้ยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น โซเดียมฟลูโอไรด์ 2,3,5-TIBA (2,3,5 triiodobenzoic acid) และ ฟูโอเรนอล เป็นต้น จะลดอัตราการเคลื่อนย้ายออกซิน



ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของ NAA (Lqbal *et al.*, 2009)

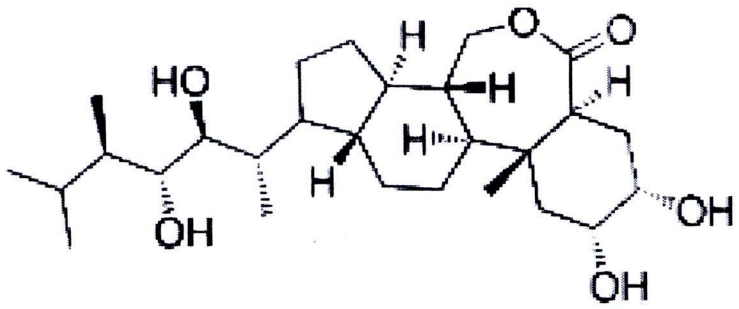


ภาพที่ 4 โครงสร้างโมเลกุลของ 3,5,6-TPA (Agusti *et al.*, 2002)

NAA และ 3,5,6-TPA เป็นสารสังเคราะห์ในกลุ่มออกซินมีโครงสร้างทางเคมีตาม (ภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4) มีบทบาทสำคัญต่อการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ โดยการส่งเสริมการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก และโปรตีน ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยาสูบ พบว่ามีปริมาณการสังเคราะห์ RNA เพิ่มขึ้นอย่างมาก หลังจากการใส่ NAA ลงในอาหารเพาะเลี้ยง (นพดล, 2537) การเร่งการขยายตัวของเซลล์บริเวณผนังเซลล์ โดยปกติผนังเซลล์ประกอบด้วยสารพวกพอลิเมอร์ของสารพอลิแซ็กคาไรด์พวกเซลลูโลส ซึ่งมีความเหนียวและแข็งแรง และสารพวกเพคติน สารเหล่านี้จะเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ เรียกว่าไมโครไฟบริล สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชพวกออกซินมีผลทำให้เซลล์มีการยืดตัวออกถาวร ทำให้ผนังเซลล์ขยายตัวออกทั้งด้านยาวและด้านกว้าง การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ต้องอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ พร้อมทั้งมีการออสโมซิสของน้ำเข้าไปในเซลล์ ขณะเดียวกันทำให้เกิดการเรียงตัวของไมโครไฟบริลขึ้นใหม่ ซึ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชพวกออกซินจะกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ เร่งกระบวนการเคลื่อนย้าย และกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์สารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ การพ่น 3,5,6-TPA ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร แก่ผลส้มพันธุ์ Okitsu (*Citrus unshiu* Marc.) ในระยะใกล้เก็บเกี่ยว พบว่าทำให้น้ำหนักผลเพิ่มขึ้นจากที่ผลมีน้ำหนัก 82.6 กรัม มีน้ำหนัก 93.4 กรัมในระยะผลสุกเต็มที่ ซึ่งกรรมวิธี

ควบคุมมีน้ำหนักในระยะผลแก่เต็มที่เพียง 74.5 กรัม และยังทำให้ปริมาณระดับน้ำตาลเฮกโซสและซูโครสในผลมีสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (Agusti *et al.*, 2002)

กลุ่มบราสสิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroids; BRs) เป็นสารกลุ่มของสารสเตียรอยด์ (steroids) ซึ่งมีปฏิกิริยาเหมือนกับสารบราสสิโนไลด์ (brassinolide) ในต้นทศวรรษที่ 1970 John Mitchell ได้ตรวจสอบสารในละอองเกสรของพืช เพื่อหาสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดใหม่ๆในพืชประมาณ 60 ชนิด พบว่าประมาณครึ่งหนึ่งมีผลให้เกิดการเจริญเติบโตของถั่วในปล้องที่ 2 เพิ่มขึ้นมาก บราสสิโนสเตียรอยด์พบในพืชจำนวนมาก ทั้งใบเลี้ยงคู่ ใบเลี้ยงเดี่ยว ต้นสน และสาหร่าย มีการค้นพบมากกว่า 60 ชนิด มี 31 ชนิดที่ได้จำแนกลักษณะแล้ว ซึ่งพบว่า 29 ชนิดเป็นสารอิสระและ 2 ชนิดเป็นสารรูปที่จับกับสารอื่น

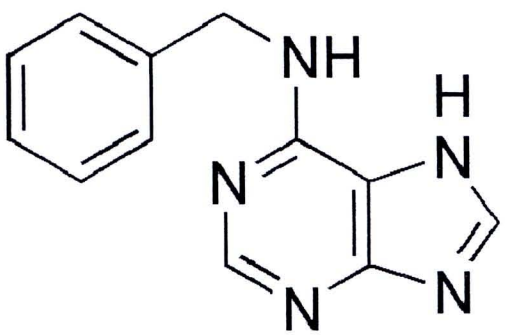


ภาพที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลของบราสสิโนสเตียรอยด์ (Sasse, 1991)

บราสสิโนสเตียรอยด์มีรูปแบบการเคลื่อนย้ายที่ยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัด แต่เมื่อให้บราสสิโนสเตียรอยด์ทางรากกับต้นมะเขือเทศมีการกระตุ้นในการสร้างเอทิลีนทำให้เกิดการม้วนใบขึ้น (Schlagnhaufer and Arteca, 1985) จากงานการวิจัยของ Sasse (1991) ที่ชี้ให้เห็นว่าบราสสิโนสเตียรอยด์สามารถเคลื่อนที่จากรากไปยังยอดของพืชได้ และเมื่อให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ทางราก ทำให้สาร 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของเอทิลีนมีปริมาณต่ำในท่อน้ำเลี้ยง หรือบราสสิโนสเตียรอยด์จากรากอาจกระตุ้นการสังเคราะห์ ACC ในเนื้อเยื่อใบ และฮอร์โมนพืชชนิดอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าเมื่อให้บราสสิโนสเตียรอยด์แก่รากของมะเขือเทศและผักกาดหัวทำให้มีการยืดขยายของก้านใบและส่วนลำต้นใต้ใบเลี้ยงเพิ่มขึ้น เมื่อให้สารนี้ที่โคนต้นของถั่วเขียวจะส่งเสริมการยืดขยายของลำต้นเหนือใบเลี้ยง บราสสิโนสเตียรอยด์เป็นสารกระตุ้นอัตราการยืดยาวของเซลล์ได้ในพืชหลายชนิด จากการศึกษาในพิทูเนีย โดยการใช้บราสสิโนสเตียรอยด์เข้มข้น 10-100 nM ร่วมกับออกซินและไซโตไคนิน พบว่ามีผลในการช่วยลดเวลาการแบ่งเซลล์ของ *Helianthus tuberosus* (Clouse and Zurek, 1991) จากการศึกษาการใช้ 0.1 เปอร์เซ็นต์ brassinolide 481 ในพืช พบว่ามีการเพิ่มกิจกรรมของ superoxide dismutase (SOD) ใน

ใบโดยกระตุ้นการเคลื่อนย้ายออกของ H^+ ลดการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อรักษาเยื่อหุ้มไว้ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยป้องกันการร่วงของดอกและผล เพิ่มอัตราการติดผล เพิ่มขนาดได้ในพืชหลายชนิด ส่งเสริมคุณภาพและเพิ่มผลผลิตได้ เช่น ข้าว พบว่าในพื้นที่ 128 ลูกบาศก์ฟุต (8×4×4) มีผลผลิตเพิ่ม 15-20 เปอร์เซ็นต์ พืชผัก 20-45 เปอร์เซ็นต์ ฝ้ายและพืชน้ำมัน 10-20 เปอร์เซ็นต์ และในพืชอีกหลายชนิดผลผลิตสามารถเพิ่มได้เช่นกัน (Chengdu Newsun Biochemistry, 2003) ในไม้ผลการพ่นสารนี้ก่อนการออกดอกสามารถป้องกันการพักตัวของดอก กระตุ้นการเจริญของผล และ ที่สำคัญคือเพิ่มขนาดของผล ทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น 15-50 เปอร์เซ็นต์ เช่น ลิ้นจี่ ลำไย และสตรอเบอรี่ นอกจากนี้ช่วยทำให้แอปเปิล สาลี่ มีสีผิวสวยสว่างมันวาว ในส้มพันธุ์ Monta การใช้บราสสิโนสเตียรอยด์ช่วยกระตุ้นการติดผล ทำให้อัตราการติดผลเพิ่มขึ้นและทนสภาพอากาศหนาวเย็นทางใต้ของญี่ปุ่นได้ และทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้น (Chengdu Newsun Biochemistry, 2003)

กลุ่มไซโตไคนิน ได้แก่ N_6-benzyladenine (BA) แหล่งที่มีการสังเคราะห์จะพบมากบริเวณปลายราก และสามารถเคลื่อนย้ายไปในใบ ลำต้น และส่วนต่างๆของพืชได้โดยระบบท่อลำเลียง BA จัดเป็นสารไซโทไคนินสังเคราะห์ มีคุณสมบัติทางเคมีเช่นเดียวกับไซโทไคนินที่พบในพืช ซึ่งปัจจุบันนิยมนำมาใช้ทางการเกษตร และทางการค้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช นำไปใช้ประโยชน์ในการชะลอหรือยืดอายุผลไม้ ดอกไม้ และผักสดให้อยู่ได้นานขึ้น ซึ่งนอกจาก BA ยังมีสารสังเคราะห์อีกหลายชนิด เช่น BAP (benzylaminopurine ไคเนทิน และ PBA (tetrahydropyranyl benzyl adenine) เป็นต้น



ภาพที่ 6 โครงสร้างโมเลกุลของ N_6-benzyladenine (นันทนา,2549)

สารในกลุ่มนี้มีผลต่อการเจริญเติบโต เช่น การส่งเสริมการแบ่งเซลล์ ในส่วนต่างๆ โดยเฉพาะเนื้อเยื่อของพืชที่เลี้ยงบนอาหารเพาะเลี้ยง จะถูกชักนำให้เกิดแคลลัสอย่างรวดเร็ว การเร่งขยายตัวของเซลล์ สารในกลุ่มนี้สามารถทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการขยายขนาดของแวคิวโอลในเซลล์ ส่งเสริมการสร้างโปรตีน ด้วยการดึงกรดอะมิโนชนิดต่างๆ และสร้าง RNA และ DNA

นอกจากนี้ยังช่วยในการเคลื่อนย้ายอาหาร ในส่วนของพืชที่มีสารในกลุ่มนี้จะสามารถดึงเอาอาหารมาจากส่วนต่างๆได้ และยังช่วยให้ใบพืชที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองสามารถสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นได้อีก การพ่น BA แก่ผลแอปเปิลพันธุ์ Galaxy พบว่า การพ่น BA ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะที่ผลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-7 มิลลิเมตร ทำให้มีประสิทธิภาพปริมาณผลผลิตสูงสุด และการพ่นสารนี้ร่วมกับ NAA 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะผลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-12 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลสูงสุด (Bregoli *et al.*, 2007)