บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

สรีรวิทยาของการออกดอกของพืช

เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม พืชหลายชนิดจะมีการพัฒนาไปโดยมีการสร้างดอก ผล และเมล็ดเพื่อการขยายพันธุ์

ในขณะที่พืชมีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาจากการเจริญทางด้านลำต้น และกิ่งใบ (vegetative growth) ไปเป็นการเจริญทางด้านเจริญพันธุ์ (reproductive growth) หรือระยะที่พืชสร้างดอกนั้น พืชจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายอย่าง โดยมีปัจจัยทั้งภายในและปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ธาตุอาหาร ฮอร์โมน รวมทั้งอายุ และความพร้อมของพืช ในสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกเหมาะสม พืชจะมีการสร้างดอกได้ ซึ่งถือว่าดอกเป็นส่วนสำคัญของพืช เป็นจุดเริ่มต้นของการขยายพันธุ์และการพัฒนาเป็นผลและเมล็ด เพื่อประโยชน์ในการดำรงสายพันธุ์ และการขยายพันธุ์พืชให้สืบทอดและแพร่กระจายต่อไป (สมบุญ, 2548)

กระบวนการเกิดดอก

การเกิดดอกของพืชต้องอาศัยกระบวนการต่างๆ ทางสรีรวิทยาที่ซับซ้อน โดยมีปัจจัยทั้งทางด้านสภาพแวดล้อมภายนอก ตลอดทั้งเกิดจากอิทธิพลภายในต้นพืชเองเข้ามาเกี่ยวข้องในการเปลี่ยนแปลงพืชจากระยะเยาวภาพ (juvenile phase) ไปเป็นระยะเต็มวัย (mature phase) เมื่อสิ่งแวดล้อมเหมาะสมพืชจะถูกกระตุ้นให้สร้างดอกได้ซึ่งเป็นระยะเจริญพันธุ์ อย่างไรก็ดีการชักนำในการออกดอกของพืชจะถูกกำหนดโดยพันธุกรรม เช่นเดียวกับกระบวนการสรีรวิทยาอื่นๆ ในขณะที่สิ่งแวดล้อมจำเพาะจะทำปฏิกิริยาร่วมส่งผลให้พืชสร้างดอก โดยทั่ว ๆ ไปกระบวนการเกิดและพัฒนาของดอกแบ่งออกเป็นระยะต่างๆ ดังนี้ คือ

1. ระยะการเจริญเต็มวัย (maturation stage) พืชทั่วไปจะออกดอกได้เมื่อมีการเจริญเต็มวัย (mature) นั่นคือ ความพร้อมของอายุนอกเหนือจากอาหารสะสมและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม พืชจึงตอบสนองต่อปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดดอกได้ ระยะที่พืชโตเต็มวัยจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พันธุ์พืช ฤดูกาล และสภาพแวดล้อม ในไม้ยืนต้นซึ่งมีการเจริญเติบโตทางกิ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบสลับกับการออกดอก มักมีระยะเวลานานก่อนออกดอก เช่น มะม่วงจะออกดอกหลังจากปลูกด้วยเมล็ด 3-5 ปี และลิ้นจี่ประมาณ 4-5 ปี (Menzel, 1983)

2. **ระยะชักนำ (induction stage)** เป็นการเปลี่ยนแปลงขั้นแรกในการเกิดดอก พืชเริ่มมีการตอบสนองต่อการกระตุ้นหรือชักนำจากปัจจัยต่างๆ ที่จะทำให้ระยะกิ่งใบเปลี่ยนเป็นระยะเจริญพันธุ์ เช่น แสง อุณหภูมิ อายุและความสมบูรณ์ของต้น เป็นระยะที่พืชมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการสร้างเมแทบอไลท์ต่างๆ ภายในเซลล์ เพื่อสังเคราะห์ฮอร์โมนที่กระตุ้นการออกดอก และลำเลียงฮอร์โมนนี้ไปยังส่วนเนื้อเยื่อที่ตาหรือยอดเพื่อเปลี่ยนเป็นตาดอก ในการชักนำพืชจะถูกกระตุ้นจากปัจจัยที่อาจเหมือนหรือแตกต่างกันออกไป เช่น มะนาวสามารถกระตุ้นการออกดอกได้ด้วยการขาดน้ำ (Chaikiattiyos *et al.*, 1994) ลิ้นจี่ ลำไยและมะม่วงสามารถกระตุ้นได้ด้วยอุณหภูมิต่ำ (Batten and McConchie, 1995; Menzel, 1983) ลำไย มะม่วงและสับปะรดสามารถกระตุ้นได้ด้วยสารเคมีบางชนิด เป็นต้น (Davenport and Nunez-Elisea, 1997; นพดล, 2537)

3. **ระยะการเกิดตาดอก (intiation of floral primordial)** เป็นระยะที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของตาที่จะเจริญเป็นดอก (floral primordial) โดยเซลล์เนื้อเยื่อเจริญเริ่มขยายตัว ทำให้มีการพองตัวของตาดอก (floral bud) พร้อมกับมีไมโตซิสเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณ central zone ซึ่งเดิมมีกิจกรรมน้อยที่สุด (ลิลลี่, 2546)

4. **ระยะการพัฒนาของดอก (floral development หรือ organogenesis)** ระยะที่มีการเกิดส่วนอื่นๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นดอก โดยตาดอกมีการพัฒนาเปลี่ยนรูปร่างจากรูปกรวยเป็นรูปร่างแบนและสร้างกลีบเลี้ยง (sepal) กลีบดอก (petal) เกสรตัวผู้ (stamen) เกสรตัวเมีย (carpel หรือ pistil) ฐานรองดอก (receptacle) โดยทั่วไปชั้นของกลีบเลี้ยง (calyx) จะเจริญขึ้นมาก่อนส่วนอื่น ตามด้วยชั้นของกลีบดอก (corolla) ชั้นเกสรตัวผู้ (androecium) และชั้นเกสรตัวเมีย(gynoecium)ส่วนประกอบต่างๆ ของดอกจะมีการเจริญและพัฒนาขึ้นมาจนถึงระยะเวลาดอกบาน (anthesis) ถือเป็นขั้นสุดท้ายของการพัฒนาของดอกในพืช ซึ่งระยะเวลาในการพัฒนาของตาดอกแตกต่างกันตามชนิดและขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ควบคุมการออกดอก เช่น ลิ้นจี่และมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเพื่อกระตุ้นการออกดอก ลิ้นจี่สามารถสังเกตเห็นตุ่มตาดอกเมื่อ 39 วัน ในขณะที่มะม่วงใช้เวลา 30 วันหลังได้รับอุณหภูมิต่ำ (Batten and McConchie, 1995)

ปัจจัยควบคุมการสร้างดอกในพืช

การสร้างดอกของพืชถูกควบคุมโดยปัจจัยต่าง ๆ ทั้งปัจจัยภายในพืชและสภาพแวดล้อมของพืช ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ปัจจัยภายในพืช

1.1 ชนิดและพันธุ์พืช ชนิดและพันธุ์พืชที่แตกต่างกันจะถูกกำหนดโดยลักษณะพันธุกรรมของพืช แม้ในสภาพแวดล้อมเดียวกันจะมีความสามารถในการสร้างดอกโดยเฉพาะการออกดอกแรกต่างกันไปด้วย เช่น ลิ้นจี่ (Menzel, 1983) และพืชล้มลุกจะสร้างดอกได้เร็วกว่าพืชยืนต้น (สมบุญ, 2548)

1.2 อายุของพืช พืชมีการเจริญเติบโตทางด้านกิ่ง ก้าน ใบ จากระยะเยาวภาพไปเป็นระยะเต็มวัยถึงช่วงอายุที่เหมาะสมจึงมีการสร้างดอก อายุพืชมีความสัมพันธ์กับขนาดของต้นพืช เช่น ลิ้นจี่ประมาณ 4-5 ปี (Menzel, 1983) และเกี่ยวข้องกับปริมาณอาหารในพืช เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและสะสมในพืชมีผลต่อการสร้างดอก เมื่อมีการสร้างตาดอกพืชจะสะสมคาร์โบไฮเดรตพวกแป้งและน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งพลังงาน (สมบุญ, 2548)

1.3 ปริมาณสารฮอร์โมนในพืช สารฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ทั้งภายในและภายนอกของพืช เพราะปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะมีผลต่อระดับฮอร์โมนและการสร้างฮอร์โมนในพืช การสร้างดอกของพืช พวกมะม่วง ส้ม สตรอเบอรี่ ท้อ แอปเปิล เชอรี่ พืชจะสร้างดอกเมื่อปริมาณ GAs ในพืชมีน้อย ในไม้ยืนต้นส่วนใหญ่พบว่า GAs เป็นสารที่ส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตทางด้านกิ่งใบเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงายของกุลทินี (2542) พบว่า gibberellin-like substances ในยอดมะปรางพันธุ์ทูลเกล้า และลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณต่ำและคงที่ในสัปดาห์ที่ 4-1 ก่อนการแตกใบอ่อน จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่แตกใบอ่อน

ในขณะที่ สุธาสินี (2544) รายงานว่า ปริมาณ gibberellin-like substances ในยอดมะปรางพันธุ์ทูลเกล้าลดต่ำลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 จนถึงสัปดาห์ที่ 2 ก่อนการออกดอก ฉะนั้น GAs เป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับระยะเยาวภาพของพืช จึงมีผลในการชะลอการสร้างดอก วิธีการใดก็ตามที่มีผลลด GAs ในพืช ซึ่งทำได้โดยการให้สารชะลอการเจริญเติบโตบางชนิดแก่พืช เพื่อลดการสร้าง GAs จะมีผลกระตุ้นการสร้างดอกให้เร็วขึ้น สารชะลอการเจริญเติบโตของพืชที่นิยมใช้ได้แก่ ดามิโนไซด์ พาโคลบิวทราโซล พ่นที่มะม่วงจะกระตุ้นการสร้างดอกของมะม่วงได้

สารอีกชนิดหนึ่งที่มีบทบาทต่อการสร้างดอกในพืชคือ เอทธีลีน พบว่าในช่วงที่พืชสร้างดอก พืชจะมีการสร้างเอทธีลีนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการให้เอทธีลีน หรือสารปลดปล่อยเอทธีลีน เช่น อีทาฟอน จะส่งเสริมให้พืชเข้าสู่ระยะชราภาพ และกระตุ้นการสร้างดอกในพืชหลายชนิด ได้แก่ การใช้อีทาฟอนกับมะม่วง สับปะรด เงาะ ลิ้นจี่ ลำไย และแอปเปิล ทำให้ชักนำให้เกิดตาดอกในกิ่งที่ไม่สร้างดอก และกิ่งที่สร้างดอกจะติดผลได้ดี (สมบุญ, 2548)

นอกจากนี้ยังพบว่าเอทธีลีนยังมีบทบาทต่อการเจริญทางกิ่งใบ (vegetative) ตามรายงานของ ศิริเพ็ญ (2544) พบว่า ในยอดลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย และมะปรางพันธุ์ทูลเกล้ามีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้มข้นของเอทธีลีนในช่องว่างระหว่างเซลล์ลดลง ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-6 ก่อนการแตกใบอ่อน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่มีการแตกใบอ่อน

2. ปัจจัยกับสิ่งแวดล้อมภายนอก

สภาพแวดล้อมภายนอกมีอิทธิพลต่อการเกิดตาดอกและการพัฒนาระยะเจริญพันธุ์ จะเห็นได้ว่าพืชบางชนิดสามารถออกดอกได้ทุกฤดู แต่มีพืชอีกหลายชนิดต้องผ่านสภาพแวดล้อมที่เฉพาะ เช่น การมีช่วงแสงที่เหมาะสม หรือต้องการอุณหภูมิต่ำ ตลอดทั้งการได้รับน้ำและแร่ธาตุจากดินในปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้พืชสามารถมีการเจริญและพัฒนาไปเป็นระยะเจริญพันธุ์ ปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นได้แก่

2.1 แสง แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสร้างอาหารของพืช โดยทั่วไปในพืชส่วนใหญ่ต้องการความเข้มของแสงในปริมาณที่สูง โดยมีผลต่อปริมาณการสะสมสารอาหารในพืช และกระตุ้นการสร้างตาดอก จากรายงานของ Cartechini and Palliotti (1995) รายงานว่าต้นองุ่น (grapevines) ที่พรางแสง 60% และ 30% มีการออกดอกลดลง คือ 62% และ 54% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่พรางแสง และน้ำหนักแห้งของใบ คาร์โบไฮเดรต แป้ง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ พื้นที่ใบ และจำนวนตาข้างลดลง ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้น และเมื่อพรางแสง 88 % ให้กับต้นส้มจะมีผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบลดลง และมีการสร้างตาดอกลดลง รวมทั้งมีจำนวนของปลายยอดที่เป็นตาใบเพิ่มมากขึ้น (Garíca- Luis *et al.*, 1995)

ช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการสร้างดอกของพืชหลายชนิด พืชแต่ละชนิดต้องการความยาวของช่วงแสงต่างกันไป ทำให้สามารถแบ่งพืชตามการตอบสนองของช่วงแสงซึ่งมีผลในการออกดอกของพืชเป็น พืชวันสั้น พืชวันยาว และพืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง

2.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อการออกดอกของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชเขตหนาว มักต้องการอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการกระตุ้นการสร้างตาดอก หรือขจัดการพักตัวของตาดอกในพืช ส่วนพืชเขตร้อนหลายชนิด เช่น ลิ้นจี่ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำในการชักนำการสร้างตาดอก ซึ่งในเขตหนาว (เส้นละติจูดที่ 15 ถึง 30 องศาเหนือ) อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง -1.1 ถึง 4 องศาเซลเซียส และไม่มีน้ำแข็งในฤดูหนาว ในเขตร้อน (อินโดนีเซีย จีนตอนใต้ ฟิลิปปินส์ กัวเตมาลา และคิวบา) อุณหภูมิในฤดูหนาวไม่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสทำให้ลิ้นจี่สามารถเจริญเติบโตทางกิ่งใบได้ดี แต่ไม่มีการออกดอกและติดผล (Menzel, 1983) ในลำไยต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วง 10-20 องศาเซลเซียส เพื่อกระตุ้นการสร้างตาดอก (พิทยาและพาวิน, 2545) พืชบางชนิดการสร้างตาดอกไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ แต่จะขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ระดับฮอร์โมนและสารอาหารในพืช ตลอดจนน้ำในดิน (สมบุญ, 2548) นอกจากนี้ยังพบว่าการที่พืชได้รับอุณหภูมิสูงหลังจากมีเกิดตาดอกจะมีผลทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การพัฒนาของตาดอกไม่สมบูรณ์ อาจเกิดลักษณะของช่อดอกปนใบได้ เช่น ลิ้นจี่ มะม่วง และลำไย (Menzel, 1983)

2.3 น้ำ ปริมาณน้ำในดินมีผลต่อการติดดอกของพืชในสภาพที่พืชขาดน้ำ หรือเกิดความเครียดในพืช จะมีตัวชักนำในการสร้างตาดอก เช่น อะโวคาโด มะนาว มะม่วง และลิ้นจี่ (Chaikiattiyos *et al.*, 1994) ในลิ้นจี่ถ้าความชื้นในดินสูงในช่วงที่มีการสร้างตาดอก จะช่วยส่งเสริมการแตกใบอ่อน และยับยั้งการสร้างตาดอก (Menzel, 1983) แต่ในระยะการเจริญของตาดอกถ้าพืชเกิดการขาดน้ำมากเกินไปทำให้ตาดอกไม่สามารถเจริญต่อไปได้ กระบวนการสร้างตาดอกจะหยุดชะงักอยู่จนกว่าจะได้รับน้ำ เมื่อทำการงดน้ำกับส้ม (satsuma mandarin) เพื่อกระตุ้นการออกดอก พบว่า ต้นส้มที่ขาดน้ำระดับรุนแรงมีการออกดอกน้อยกว่าการขาดน้ำระดับกลาง แต่มีอัตราส่วนของช่อดอกล้วนเป็น 3 เท่าของช่อดอกปนใบ ในขณะที่การขาดน้ำระดับกลางมีช่อดอกปนใบเป็น 1.7 เท่าของช่อดอกล้วน ในขณะที่ปริมาณ IAA และ ABA เพิ่มสูงขึ้นเป็น 2 เท่าเมื่อส้มมีสภาวะเครียดจากนั้นจะลดต่ำลง แต่ไม่แตกต่างกันในระหว่างกรรมวิธี และการขาดน้ำระดับกลางมี GA_1 และ GA_3 เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเครียด แต่ปริมาณ GA_4 และ GA_7 ไม่มีความแตกต่างกัน (Koshita and Takahara, 2004) นอกจากนี้ยังพบว่าการขาดน้ำยังสามารถกระตุ้นการออกดอกของอะโวคาโดและมะนาว (Chaikiattiyos *et al.*, 1994) ซึ่งเป็นการลดการเจริญเติบโตทางกิ่งใบการรดน้ำให้แก่ต้นพืชที่อยู่ในระยะการสร้างตาดอกอาจมีผลทำให้การสร้างตาดอกช้าลงได้เช่นกัน

2.4 ปริมาณอาหารในพืช เชื่อว่าการออกดอกของพืชขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตและไนโตรเจนในต้นพืช ถ้าปริมาณไนโตรเจนสูงจะส่งเสริมการสร้างใบ และกิ่ง หรือการเจริญด้านกิ่งใบ ทำให้การสร้างดอกของพืชเกิดยากหรือช้า ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรต หรือสารประกอบคาร์บอนในพืชซึ่งสูงหรือในสภาพ ที่พืชได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงจะกระตุ้นการสร้างตาดอกของพืช (สมบุญ, 2548)

การเจริญเติบโตทางกิ่งใบ (vegetative) มีผลลดการเจริญเติบโต ทางด้านสืบพันธุ์ (reproductive) ดังนั้น การยับยั้งการเจริญทางกิ่งใบจึงเป็นวิธีหนึ่งในการกระตุ้นการออกดอก เช่น การงดน้ำให้พืชเกิดสภาวะเครียด การให้อุณหภูมิต่ำ การควั่นกิ่ง และการให้สารเคมีในการลดการเจริญเติบโตของกิ่งใบ (Chaikiattiyos *et al.*, 1994 , พาวิน และคณะ, 2543) เป็นต้น

ในทางตรงกันข้าม ในมะกอก พบว่า อัตราส่วนระหว่างคาร์โบไฮเดรตและไนโตรเจนไม่มีผลในการชักนำการออกดอก แต่มีบทบาทในการสร้างตาดอก และการพัฒนาของตาดอก รวมถึงผลผลิตในปีถัดไป (Ulger *et al.*, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในขณะที่การขาดแคลนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทำให้พืชเกิดการแคระแกร็น รวมถึงกระทบต่อการสร้างตาดอก เช่น ลิ้นจี่ และการเพิ่มธาตุอาหารรองให้แก่พืช เช่น สังกะสี โบรอน และทองแดง จะช่วยเพิ่มการออกดอกและติดผล (Menzel, 1983)

2.5 สารเคมี สารเคมีหลายชนิดรวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตซึ่งพืชได้รับจากภายนอกสามารถชักนำให้เกิดดอกในพืชได้เช่นเดียวกับฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้น เช่น การใช้ Na-NAA (sodium naphthylene acetic acid) และ SADH (dimethylaminosuccinamic acid) กับลิ้นจี่เพื่อควบคุมการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ และส่งเสริมการออกดอก การใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตชักนำการสร้างดอกนอกฤดูในลำไย (สมบุญ, 2548)

สรีรวิทยาการเจริญเติบโตของลำไย (พาวิน และคณะ, 2546)

ลำไยเป็นไม้ผลที่มีการเจริญเติบโตได้ดีในเขตกึ่งร้อนและเขตร้อน โดยการเจริญเติบโตมีความแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ปลูก ซึ่งเกี่ยวข้องกับระดับอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ แสง และความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเจริญเติบโตทั้งทางด้านกิ่งใบ การออกดอก การติดผล การพัฒนาของผล ตลอดจนคุณภาพของผลผลิต

การเจริญเติบโตด้านกิ่งใบ เป็นระยะต้นกล้าและต้นลำไยที่ปลูกด้วยกิ่งตอนที่ยังไม่ให้ผลผลิตจะมีการผลิใบ 3-5 ครั้งต่อปี ส่วนต้นที่ให้ผลผลิตและมีอายุมากจะมีการผลิใบก่อนการออกดอก ประมาณ 1-2 ครั้ง คือหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 3-4 สัปดาห์ ลำไยจะเริ่มผลิใบซึ่งจะตรงกับช่วงฤดูฝน (กันยายน- ตุลาคม) การผลิใบครั้งที่สองอาจเกิดขึ้นอีกครั้ง ในช่วงฤดูหนาวสภาพของอุณหภูมิทั้งในดินและอากาศต่ำ มีผลทำให้การเจริญของยอดใหม่ใช้เวลานานกว่าครั้งแรกประมาณ 2 เท่า ส่วนต้นลำไยที่มีอายุมากกว่า 30 ปีสามารถออกดอกได้เมื่อมีการผลิใบเพียงครั้งเดียว ซึ่งโดยทั่วไปต้นลำไยที่มีอายุน้อยจะออกดอกได้เมื่อมีการผลิใบ 2 ครั้ง หรืออาจผลิใบถึง 3 ครั้งในต้นที่มีอายุมากขึ้น แต่มักพบในต้นที่มีการออกดอกเว้นปี

การออกดอก ลำไยที่ปลูกด้วยกิ่งตอนที่มีสภาพของต้นสมบูรณ์จะเริ่มออกดอกในปีที่สอง โดยช่อดอกส่วนใหญ่จะเกิดตรงส่วนปลายยอด ภายในต้นเดียวกันอาจผลิดอกไม่พร้อมกันทั้งต้น ลำไยตามฤดูกาลจะเริ่มแทงช่อดอกราว ๆ ปลายเดือนธันวาคมถึงต้นกุมภาพันธ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ พื้นที่ปลูกและสภาพแวดล้อมในแต่ละปี ลำไยมีนิสัยการออกดอกเว้นปี (alternate bearing) บางปีออกดอกมา (on year) บางปีออกดอกน้อย (off year) หรือออกดอกปีเว้นปี ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ความสมบูรณ์ของต้น ลำไยเป็นพืชที่ใช้เวลาตั้งแต่ออกดอกถึงผลแก่นานประมาณ 6 ถึง 7 เดือน ในปีที่ผลดก อาหารจะถูกใช้ไปอย่างมากเพื่อการเจริญเติบโตของผล รวมทั้งต้นลำไยมีระยะในการพักฟื้นและสะสมอาหารสั้น หากการดูแลรักษาไม่ดีพออาจทำให้ต้นลำไยไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวยจะส่งผลให้ออกดอกน้อยในปีถัดไป

2. พันธุ์ ลำไยแต่ละพันธุ์มีความยากง่ายของการออกดอกที่แตกต่างกัน เช่น พันธุ์ใบดำ และพันธุ์ดอ มีนิสัยการออกดอกค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนพันธุ์เบี้ยวเขียวและแห้ว มักจะออกดอกเว้นปี ลำไยบางพันธุ์มีนิสัยออกดอกง่าย และออกดอกมากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี เช่น พันธุ์เพชรสาคร

3. การผลิใบอ่อน ต้นลำไยที่มีอายุน้อยอาจผลิใบใหม่ 2-3 ครั้ง ช่วงก่อนการออกดอกในฤดูกาลถัดไป แต่ต้นลำไยที่มีอายุมากอาจผลิใบใหม่เพียงหนึ่งครั้งก็สามารถออกดอกได้ แต่จังหวะของการผลิใบอ่อนครั้งสุดท้าย ใบและยอดของลำไยจะต้องแก่ทันก่อนที่อากาศหนาวเย็นจะมากระทบ

4. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเกิดตาดอกของลำไย โดยสังเกตได้จากปีที่มีอากาศหนาวเย็นมากและยาวนาน สามารถชักนำให้ลำไยทั้งต้นที่สมบูรณ์และต้นที่ไม่สมบูรณ์ออกดอกได้ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าสภาพอุณหภูมิต่ำสลับกับอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิไม่ต่ำพอลำไยจะออกดอกน้อย แม้ว่าต้นมีความสมบูรณ์

5. การขาดน้ำ เชื่อกันว่าสภาพการขาดน้ำช่วยส่งเสริมการออกดอกของลำไย โดยช่วยลดการผลิใบที่อาจจะเกิดขึ้นในช่วงก่อนระยะการออกดอกตามปกติ (กลางเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำพืชดูดน้ำได้น้อยลง ทำให้ได้รับธาตุไนโตรเจนซึ่งละลายขึ้นไปกับน้ำลดลงตามไปด้วย เนื่องจากธาตุไนโตรเจนมีบทบาทช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านกิ่งใบ ดังนั้นเมื่อระดับของไนโตรเจนลดต่ำลง การผลิใบจึงถูกชะลอหรือยับยั้ง จากนั้นเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำเพียงพอก็สามารถออกดอกได้

6. ฮอร์โมนภายในต้น เนื่องจากฮอร์โมนภายในต้นมีผลต่อการออกดอกของลำไย จากการศึกษาถึงปริมาณฮอร์โมนที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการออกดอกรายงานว่า ปริมาณไซโตไคนินในยอดลำไยในระยะผลิใบอ่อนจะต่ำ และจะสูงในระยะสร้างตาดอกโดยเฉพาะอย่างยิ่ง zeatin, zeatin riboside, isopentenyl adenosine และ isopentenyl adenine (Chen *et al.*, 1997) และสุภาวดี (2545) รายงานว่า ในสภาพอุณหภูมิต่ำปลายยอดลำไยจะมีปริมาณ GAs ต่ำ 1-2 สัปดาห์ ก่อนการออกดอก และ Hegele *et al.* (2004a) ที่รายงานว่า ภายหลังราดสารโพแทสเซียมคลอเรตต้นลำไยมีออกดอกในวันที่ 17 ในขณะที่ปริมาณ cytokinin ในปลายยอดเพิ่มสูงขึ้น โดย iAdo/iAde เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 15 หลังการราดสาร และ zeatin/ zeatiriboside เพิ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูงขึ้นหลังจากนั้นอีก 4 วัน คือในวันที่ 19 ในขณะที่ IAA ในปลายยอดมีปริมาณต่ำที่สุดในช่วงออกดอก คือ ระหว่างวันที่ 15-19 หลังการราดสาร

การชักนำการออกดอกของลำไยโดยการใช้สารโพแทสเซียมคลอเรต

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าสารเคมีที่ใช้บังคับลำไยให้ออกดอกนอกฤดูได้ คือสารโพแทสเซียมคลอเรต โซเดียมคลอเรต และโซเดียมไฮโปคลอคลอไรท์ โดยสารที่กระตุ้นให้ลำไยออกดอกได้นั้นเชื่อว่าน่าจะเกิดจากอนุมูลคลอเรต (ClO^-_3) มิใช่ส่วนของโซเดียมและโพแทสเซียม สำหรับสารเคมีที่ นิยมใช้บังคับให้ลำไยออกดอกที่นิยมมากที่สุด คือ สารโพแทสเซียมคลอเรต (พาวิน และคณะ, 2547)

สารโพแทสเซียมคลอเรต (potassium chlorate : $KClO_3$) มีคุณสมบัติเป็นของแข็ง ถ้าอยู่ในรูปผลึกจะใสและไม่มีสี เมื่อนำมาบดเป็นผงจะมีสีขาว ละลายน้ำได้น้อย โดยสาร 1 กรัม ต้องใช้น้ำในการละลาย 16.5 มิลลิลิตร แต่ละลายได้ดีในน้ำเดือด โดยใช้น้ำเพียง 1.8 มิลลิลิตร สารนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง คือเป็นสารที่ให้ออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชั่น จึงมีการนำสารนี้มาใช้ในการทำพลุ ดอกไม้ไฟ ทำไม้ขีดไฟ ชนวนจุดระเบิด สีย้อม การฟอกหนัง ตลอดจนสารฆ่าเชื้อโรค สารนี้มีค่าจุดเดือดที่ 400 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 368 องศาเซลเซียส น้ำหนักโมเลกุล 122.55 และมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.32 (ธนะชัย, 2542)

เนื่องจากการใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตในการชักนำให้ลำไยออกดอกนอกฤดูนั้นเริ่มต้นที่ชาวสวนก่อน จากนั้นจึงเริ่มมีการศึกษาทดลอง และพบปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองต่อสารโพแทสเซียมคลอเรต ดังนี้ (พาวิน และคณะ, 2547)

1. **ระยะการพัฒนาของใบ** การใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตกับใบลำไย 3 ระยะ คือ ระยะใบอ่อน (ใบอายุน้อยกว่า 10 วัน) ระยะใบเพสาด (ใบอายุ 20-25 วัน) ระยะใบแก่ (ใบอายุประมาณ 45 วัน) ในอัตราที่เท่ากัน คือ 8 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า ใบอายุ 45 วัน ออกดอกได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ใบอายุ 20-25 วัน ส่วนใบอ่อนอายุน้อยกว่า 10 วัน ออกดอกได้น้อยที่สุด (พิทยา และคณะ, 2547) ดังตาราง 1 แสดงว่า ต้นลำไยตอบสนองต่อสารได้ดีในระยะใบแก่ สาเหตุที่ต้นลำไยที่อยู่ในระยะใบอ่อนตอบสนองต่อสารโพแทสเซียมคลอเรตได้ไม่ดี คาดว่า ใบอ่อนมีสารยับยั้งการออกดอก ถ้าปลิดใบอ่อนออกและให้สารโพแทสเซียมคลอเรต พบว่า ลำไยสามารถออกดอกได้ดีเท่ากับใบแก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1 ผลของการให้สารโพแทสเซียมคลอเรตอัตรา 8 กรัมต่อตารางเมตรของพื้นที่ทรงพุ่มกับต้นลำไยในระยะใบอ่อน ใบเพสลาด และใบแก่ต่อการออกดอกของลำไยพันธุ์ดอ

ระยะใบ	เปอร์เซ็นต์การออกดอกหลังการให้สาร (วัน)	
	45	60
ต้นไม่ให้สาร	0.0	0.0
ให้สารระยะใบอ่อน	5.0	6.7
ให้สารระยะใบเพสลาด	30..0	61.7
ให้สารในระยะใบแก่	85.0	100.0

ที่มา : พาวิน และคณะ, (2547)

2. อัตราของสาร ปัจจุบันเกษตรกรได้มีการใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตในปริมาณที่สูง ทั้งนี้เนื่องได้รับคำแนะนำที่ผิด หรือความไม่มั่นใจว่าการใช้สารในปริมาณน้อยจะสามารถชักนำการออกดอกได้ จากรายงานการทดลองของ พาวิน และคณะ (2547) พบว่าการให้สารกับต้นลำไยพันธุ์ดอใน เดือนพฤศจิกายนในอัตรา 8 กรัมต่อตารางเมตร สามารถชักนำให้ลำไยออกดอกได้ 100% ส่วนในอัตราที่ต่ำกว่านี้ คือ 4 กรัมต่อตารางเมตรออกดอกได้ 88% ส่วนลำไยพันธุ์สีชมพูใช้สารเพียง 1 กรัมต่อตารางเมตร สามารถชักนำให้ต้นลำไยออกดอกได้ 100% แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในปีแรกต้นลำไยมีความสมบูรณ์จึงตอบสนองต่อสารได้ดี และการกำหนดอัตราการให้สารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฤดูกาลในการให้สาร และความสมบูรณ์ของต้น นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตว่าถ้าต้นลำไยที่มีทรงพุ่มทึบมักจะออกดอกได้น้อย ในขณะที่ต้นที่มีการตัดแต่งกิ่งจะตอบสนองต่อสารได้ดี

3. ฤดูกาลในการให้สาร ฤดูกาลมีผลต่อการตอบสนองของต้นลำไยต่อสารที่ให้ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีอากาศหนาวเย็น ต้นลำไยสามารถตอบสนองต่อสารได้ดีแม้ใช้ในปริมาณน้อย แต่ในช่วงฤดูฝนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเดือนกันยายนซึ่งเป็นเดือนที่ฝนตกชุกมากที่สุด จะออกดอกได้น้อยกว่าเดือนอื่น ๆ ที่ใช้สารในอัตราเท่ากัน การใช้สารในฤดูหนาวและในฤดูร้อนออกดอกได้มากกว่าการให้สารในฤดูฝน การใช้สารในฤดูฝนลำไยออกดอกได้น้อย สาเหตุหนึ่งเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาชะล้างสารบางส่วนไหลซึมเลยเขตรากทำให้ความเข้มข้นของสารลดลงทำให้การออกดอกน้อยลง ซึ่งสามารถยืนยันสมมุติฐานนี้ได้จากผลการศึกษาของสุภาวดี (2545) รายงานว่า ภายหลังจากให้สารโพแทสเซียมคลอเรตถ้าให้มากเกินไปต้นลำไยจะออกดอกได้น้อยกว่าต้นลำไยที่ให้น้ำพอดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ความเข้มของแสง ผลของการพรางแสง 0, 50 และ 90% กับต้นลำไยที่ปลูกในกระถางแล้วให้สารโพแทสเซียมคลอเรตอัตรา 1 กรัมต่อกระถาง พบว่าเปอร์เซ็นต์การออกดอกของลำไยลดลงตามระดับการพรางแสงที่เพิ่มขึ้น (สุภาวดี, 2545) ความรู้ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ คือ ควรทำการตัดแต่งกิ่ง เพื่อให้ทรงพุ่มโปร่งแสงแดดสามารถส่องผ่านเข้าไปในทรงพุ่มได้ และควรหลีกเลี่ยงการให้สารโพแทสเซียมคลอเรตในช่วงที่ครึ้มฟ้าครึ้มฝน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อให้สารโพแทสเซียมคลอเรตกับลำไยจะมีผลทำให้อัตราสังเคราะห์แสงลดลง (ชิติ และคณะ, 2548 และ สุภาวดี, 2545)

5. พันธุ์ลำไย ลำไยแต่ละพันธุ์ตอบสนองต่อสารต่างกัน พันธุ์ที่ตอบสนองได้ดี คือ พันธุ์สีชมพู ส่วนพันธุ์อื่น ๆ เช่น แห้ว พวงทอง เบี้ยวเขียว ตลับนาก ใบดำ และพื้นเมืองมีการตอบสนองได้ดีเช่นกัน พันธุ์ที่ตอบสนองได้ดีที่สุดคือ พันธุ์สีชมพู

6. วิธีการให้สาร การให้สารโพแทสเซียมคลอเรตสามารถให้กับต้นลำไยได้ 3 วิธี คือ (พาวิน และคณะ, 2547)

การให้ทางดิน เป็นการผสมสารกับน้ำราดและการให้แบบหว่านบริเวณทรงพุ่ม การผสมน้ำราดมีข้อดี คือ มีการกระจายตัวของสารอย่างสม่ำเสมอเหมาะสำหรับช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกในทางตรงกันข้ามในช่วงที่มีฝนตกการให้สารแบบหว่านกลับได้ผลดีกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการหว่านสารจะค่อยๆ ละลายออกมาไม่ถูกชะล้างไปกับน้ำฝน ในลักษณะเดียวหากให้น้ำมากเกินไปจะมีผลให้สารถูกชะเลยรากพืช จนดูดไปใช้ไม่ได้ ในทางปฏิบัติก่อนการให้สารควรทำความสะอาดบริเวณทรงพุ่ม โดยกำจัดวัชพืชและกวาดวัสดุคลุมดินออกจากโคนต้นก่อนหว่านสารหรือราดสารบริเวณชายพุ่มแล้วให้น้ำตามพอชุ่ม เพื่อให้รากดูดสารเข้าสู่ลำต้นให้มากที่สุด ในช่วง 15 วันแรกของการให้สารควรรักษาความชื้นอย่างสม่ำเสมอ

การให้ทางใบ การให้สารโพแทสเซียมคลอเรตทางใบสามารถทำให้ลำไยออกดอกได้แต่ต้องใช้ในความเข้มข้นที่ต่ำ การใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออัตรา 400 กรัมต่อน้ำ 200 ลิตร สามารถชักนำให้ออกดอกได้ การให้สารวิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ใบลำไยไหม้และบางส่วนจะร่วง การลดการร่วงของใบสามารถทำได้โดยการลดความเข้มข้นเหลือ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออัตรา 200 กรัมต่อน้ำ 200 ลิตร พ่น 2 ครั้งห่างกัน 7 วัน และควรพ่นให้โดนส่วนปลายยอดไม่ควรพ่นใบแก่ในทรงพุ่ม ถ้าใช้ความเข้มข้นมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรใบจะร่วง การฉีดพ่นในขณะที่แสงแดดจัด ใบก็จะร่วงได้เช่นกัน ดังนั้นจึงควรพ่นในช่วงที่อากาศเย็นเช่นในช่วงเช้าหรือช่วงเย็น นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตว่าการฉีดพ่นสารกับต้นลำไยที่ขาดน้ำมาก ๆ จะทำให้ใบร่วง การพ่นสารทางใบกับลำไยแต่ละพันธุ์ใช้ความเข้มข้นเท่ากัน ข้อควรระวังในการใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตพ่นทางใบ ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ไม่ควรใช้สารในปริมาณสูงกว่าคำแนะนำ เพราะจะทำให้ใบลำไยไหม้และร่วงได้
- ควรพ่นในระยะใบเพสลาดถึงใบแก่ (ใบอายุ 45-60 วัน)
- ควรพ่นในตอนเช้าหรือเย็นในขณะที่อากาศไม่ร้อน
- ควรสวมชุดปกปิดร่างกาย และไม่ควรสูบบุหรี่ ในขณะฉีดพ่นสารและทำความสะอาดชุดที่สวมทันทีหลังจากฉีดพ่น
- ไม่ควรผสมสารใด ๆ ร่วมกับคลอเรต

การฉีดเข้าลำต้น การฉีดสารเข้าลำต้นโดยใช้สารอัตรา 0.25 กรัมต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของกิ่งหนึ่งเซนติเมตรกับลำไยพันธุ์สีชมพูสามารถชักนำให้ลำไยออกดอกได้ถึง 80% การให้สารควรเลือกกิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-15 เซนติเมตร แล้วใช้สว่านเจาะเข้าไปในกิ่งลึกประมาณ 2-3 นิ้ว จากนั้น นำปลอกพลาสติกตอกลงไปในรูให้แน่นละลายสารคลอเรตในน้ำปริมาณน้อยๆ จากนั้นใช้หลอดฉีดยาชนิดพลาสติกขนาด 60 ซีซี ดูดสารละลายและดูดอากาศเข้าไปด้วยประมาณ 10 ซีซี เพื่อให้เกิดแรงดันสารละลายเข้าไปในกิ่งโดยผ่านทางปลอกพลาสติกที่ตอกไว้ ภายหลังจากฉีดสารเข้าไปในกิ่งต้องให้น้ำกับต้นลำไยเพื่อให้สารลำเลียงขึ้นสู่ยอดให้เร็วที่สุด

ในการให้สารทั้ง 3 วิธี วิธีที่นิยมมากและทำให้ลำไยออกดอกได้มากที่สุด คือ การให้ทางดิน โดยพบว่าเมื่อให้สารซ้ำที่เดิม การให้ทางดินทำให้ลำไยออกดอกได้มากกว่าการพ่นทางใบ (พาวิน และคณะ, 2547)

ออกซิน (Auxins) (สมบุญ, 2548; ลิลลี่ และคณะ, 2549)

พื้นฐานในการศึกษาเกี่ยวกับออกซินได้เริ่มมาตั้งแต่สมัยของ Charles Darwin ในปี ค.ศ.1880 ได้สังเกตว่ายอดของต้นกล้าพืชโค้งเข้าหาแสง พบว่า บริเวณปลายยอดของต้นกล้าเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรับแสงแล้วทำให้พืชเกิดการโค้งเข้าหาแสง เขาได้ตั้งสมมติฐานว่า เมื่อพืชได้รับแสงจากสารบางชนิดเกิดขึ้นที่ปลายยอด และสารนี้สามารถเคลื่อนที่จากปลายยอดลงมาสู่ด้านล่าง มีผลทำให้พืชโค้งเข้าหาแสง

การสังเคราะห์ออกซินในพืช

ออกซินเป็นสารที่พืชสังเคราะห์ได้เองตามธรรมชาติ มีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ในพืชส่วนที่มีการสร้างออกซิน ได้แก่ บริเวณเนื้อเยื่อเจริญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปลายยอด ตาที่กำลังเจริญ ใบอ่อน และเอมบริโอที่กำลังเจริญก็จะมีการสร้างออกซินมาก นอกจากนี้พบว่าแบคทีเรียบางชนิดมีความสามารถสร้างออกซินได้เช่นกัน เนื่องจากออกซินที่พืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สร้างขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารเคมีที่เรียกว่า กรดอินโดล-3-แอซีติก (indole-3-acetic acid, IAA)

IAA สังเคราะห์ได้จากเส้นทางของกรดอะมิโนทริปโทเฟน (tryptophan-dependent pathways) และเส้นทางที่เป็นอิสระจากกรดอะมิโนทริปโทเฟน (tryptophan-independent pathways) (Srivastava, 2002)

tryptophan-dependent pathways เกิดจากทริปโทเฟนซึ่งเป็นสารประกอบของการสังเคราะห์ IAA อาจเปลี่ยนเป็นอินโดลไพรูเวต (indolepyruvate) โดยกระบวนการดีอะมิเนชัน (deamination) หลังจากนั้นจะเกิดกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ดึงคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากอินโดลไพรูเวต ทำให้เกิดสารตัวกลางใหม่ คือ อินโดลอะเซทาลดีไฮด์ (indoleacetaldehyde) ซึ่งต่อมาหมู่อัลดีไฮด์ (aldehyde) ของอินโดลอะเซทาลดีไฮด์จะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็น IAA (Srivastava, 2002; สมบุญ, 2548)

tryptophan-independent pathways ซึ่งเกิดจาก โครีสเมท (chorismate) และแอนทรานิเลท (antranilate) ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นทริปเฟนและ IAA ได้โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งคาดว่าเป็นกระบวนการการสังเคราะห์ IAA ที่สำคัญในพืช (Srivastava, 2002)

IAA เป็นออกซินที่เกิดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งพืชสังเคราะห์ขึ้น เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในปัจจุบันมีการค้นพบสารเคมีสังเคราะห์หลายชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นออกซิน ได้แก่ สารที่มีอยู่ในกลุ่มกรดอินโดล (indole acid) กรดเบนโซอิก (benzoic acid) กรดฟีน็อก (phenoxy acid) และกรดแนฟทาลีน (naphthalene acid) เป็นต้น สารที่แสดงคุณสมบัติออกซินในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้ทางการเกษตร และนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ กรดอินโดลบิวทิริก (indole bytyric acid, IBA) กรดแนฟทาลีนแอเซติก (naphthalene acetic acid, NAA) กรดอินโดลโพรพิโอนิก (indolepropionic acid, IBA) กรดแนฟทาลีนแอเซติก (2,4-dichloroactic acid, 2,4-D) กรด 4- คลอโรฟีน็อกซิแอเซติก (4-chlorophenoxy acetic acid,4-CPA) และกรด 2,3,6-ไทรคลอโรเบน-โซอิก (2,3,6-tichlorobenzoic acid) เป็นต้น

IAA สามารถถูกทำลายได้โดยเอนไซม์ต่างๆ เช่น ไอเอเอ-ออกซิเดส (IAA-oxidase) เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ฟีนอลออกซิเดส(phenol oxidase) สารที่เกิดขึ้นไม่มีผลต่อการเร่งการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งถือว่ามีบทบาทในการทำลาย IAA อย่างถาวร เพราะไม่สามารถนำ IAA มาใช้ได้อีก สำหรับเอนไซม์ IAA-oxidase ที่ได้จากพืช พบว่ามีคุณสมบัติคล้ายเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ซึ่งต้องการ Mn^{+2} และฟีนอลเป็นโคแฟคเตอร์ นอกจากนี้ IAA-oxidase ได้แก่ ราก และลำต้น ในใบจะพบน้อย สำหรับบริเวณเนื้อเยื่อเจริญจะไม่พบเอนไซม์นี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในสภาพที่มีแสงมาก IAA ในพืชจะถูกออกซิไดส์มีผลทำให้ IAA เสื่อมสภาพ เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า โฟโตออกซิเดชัน (photo oxidation) พืชที่มีรงควัตถุไรโบเฟลวิน และวิโอลาซานทีน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับแสงช่วงสีน้ำเงินอยู่มาก พบว่าจะเกิดกระบวนการโฟโตออกซิเดชันมาก ดังนั้นช่วงแสงสีน้ำเงินจะมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการออกซิไดส์ IAA โดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน

การเคลื่อนย้ายของออกซินในพืช

การเคลื่อนย้ายของออกซินในพืชเป็นแบบมีทิศทาง หรือโพลาแทรนสปอร์ต (polar transport) ในลำต้นออกซินจะถูกสร้างที่ปลายยอดเป็นส่วนใหญ่ จะเคลื่อนย้ายจากปลายยอดลงสู่ด้านฐาน เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบเบซิเพทอล (basipetal movement) เป็นแบบมีทิศทาง นอกจากนี้ออกซินยังสามารถเคลื่อนที่จากที่ซึ่งมีความเข้มข้นของออกซินต่ำไปสู่ที่มีความเข้มข้นสูง หรือมีทิศทางสวนทางกับความเข้มข้น (against concentration gradient) ความเร็วในการเคลื่อนย้ายออกซินในลำต้นประมาณ 5-10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าอัตราการแพร่ถึง 10 เท่า และจำเป็นต้องอาศัยพลังงานในการเคลื่อนย้ายออกซินในพืช ในสภาพที่มีออกซินอยู่น้อย หรืออุณหภูมิต่ำ อัตราการเคลื่อนย้ายออกซินจะลดลงเช่นกัน จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนย้ายของออกซินอย่างมีทิศทาง หรือโพลาแทรนสปอร์ตเป็นการเคลื่อนที่แบบแอคทีฟแทรนปอร์ต ซึ่งสามารถปั๊มสารเข้าออกนอกเซลล์ได้โดยผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ อัตราเร็วของการเคลื่อนที่จะเกิดมากที่บริเวณใกล้ปลายยอดและจะลดต่ำลงมาสู่ด้านล่าง

แรงดึงดูดของโลกมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้ายของออกซิน ซึ่งเมื่อวางส่วนของพืชในแนวราบ หรือกลับส่วนยอดของพืชสู่ด้านล่างในแนวดิ่ง มีผลทำให้อัตราเร็วของการเคลื่อนย้ายของออกซินแบบเบซิเพทอลลดลง ออกซินในพืชมีการเคลื่อนย้ายอย่างมีทิศทางด้วยอัตราเร็วประมาณ 5-15 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่วนสารละลายในท่ออาหารเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 100-1,000 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าการเคลื่อนย้ายของออกซินมาก และการเคลื่อนที่ของสารละลายในท่ออาหารส่วนใหญ่มักมีทิศทางจากปลายรากสู่ยอดเป็นแบบอะโครเพทอล (acropetal) เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของน้ำและเกลือแร่ในท่อน้ำ สำหรับองค์ประกอบของท่อน้ำเป็นกลุ่มเซลล์ที่ไม่มีชีวิต

ผลของออกซินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

1. กระตุ้นการแบ่งเซลล์ ออกซินสามารถเร่งการแบ่งเซลล์โดยส่งเสริมการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกและโปรตีน

2. เร่งการขยายตัวของเซลล์ ออกซินช่วยทำให้เกิดการขยายตัวของผนังเซลล์ โดยปกติผนังเซลล์ประกอบด้วยสารประกอบพอลิเมอร์ของสารพอลิแซ็กคาไรด์พวกเซลลูโลส ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นสารที่มีความเหนียวและแข็ง และสารพวกเพคทิค สารต่างๆ เหล่านี้จะเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ เรียก ไมโครไฟบริล (microfibil) ออกซินมีผลทำให้ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลง มีการยืดตัวอย่างถาวร (plasticity) มิใช่ยืดตัวแบบกลับไปกลับมา (elasticity) ซึ่งจะทำให้ผนังเซลล์ขยายตัวทั้งด้านยาวและด้านกว้าง การยืดตัวของผนังเซลล์จะต้องอาศัยเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ เซลลูเลสช่วยย่อยเซลลูโลส และไฮโดรลิทิก เอนไซม์เปลี่ยนสารประกอบเพคทิคเป็นเพคทิน เอนไซม์ต่างๆ เหล่านี้จะช่วยทำลายไมโครไฟบริลของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัวเกิดการยืดตัวของผนังเซลล์ พร้อมทั้งมีการออสโมซิสของน้ำเข้าไปในเซลล์ แรงดันเทอร์เกอร์เพิ่มขึ้นทำให้เซลล์มีการขยายตัว ขณะเดียวกันทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริลขึ้นใหม่ ซึ่งออกซินจะช่วยกระตุ้นกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์ เร่งการเคลื่อนย้ายสารต่างๆ และกระตุ้นการสังเคราะห์สารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เพื่อนำไปสร้างผนังเซลล์ใหม่ ทำให้เซลล์ขยายขนาดอย่างถาวรขึ้นได้ จากการแบ่งตัวและขยายขนาดของเซลล์ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละส่วนของพืชจะมีการตอบสนองต่อออกซินในปริมาณที่แตกต่างกันไป โดยส่วนของรากจะตอบสนองต่อออกซินในปริมาณค่อนข้างต่ำ ถ้าออกซินปริมาณสูงเกินไปจะยับยั้งการเจริญเติบโตของรากได้

3. การควบคุมการแตกของราก ออกซินช่วยให้ลำต้น กิ่งปักชำและกิ่งตอนเกิดรากได้ ในการแตกรากของพืชต้องประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การมีอาหารสะสมอยู่ภายในอย่างเพียงพอ มีออกซินและโคแฟคเตอร์พวกฟีนอลในบริเวณที่จะเกิดราก โดยสารต่างๆ เหล่านี้จะทำปฏิกิริยาต่อเนื่อง กระตุ้นการเกิดรากขึ้นใหม่ได้ ออกซินที่นิยมใช้เร่งการแตกของราก คือ IBA และ NAA IBA เป็นสารที่มีฤทธิ์ของออกซินค่อนข้างต่ำ เคลื่อนย้ายได้ช้ามากและสลายตัวได้เร็วพอประมาณ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเร่งการเกิดรากได้ดี ส่วน NAA มีฤทธิ์ออกซินสูงกว่า เคลื่อนที่ภายในกิ่งพืชได้ดีและสลายตัวช้า ในปริมาณความเข้มข้นที่พอเหมาะจะกระตุ้นการเกิดราก แต่ถ้าความเข้มข้นของ NAA สูงเกินไป จะเป็นพิษต่อพืชได้ สำหรับ 2,4-D และ 4-CPA เป็นออกซินสังเคราะห์ที่มีฤทธิ์สูง ถ้าใช้ในปริมาณความเข้มข้นของสารสูงมีผลทำให้รากที่งอกมีลักษณะผิดปกติ รากสั้นหนา เกิดเป็นกระจุกและอาจมีผลทำให้กิ่งหรือต้นพืชตายได้ ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำมาก ๆ ก็จะมีผลช่วยกระตุ้นการแตกของรากได้เช่นกัน โดยทั่วไปออกซิน ความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 10^{-8} M จะยับยั้งการเจริญของรากพืช

4. การยับยั้งการเจริญของตาข้าง ออกซินในพืชจะสร้างขึ้นที่ปลายยอดเป็นส่วนใหญ่และเคลื่อนที่สู่ส่วนล่าง มีผลยับยั้งการเจริญของตาข้างมิให้งอกเป็นกิ่งและใบ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การข่มของส่วนยอด หรือแอพิคัลโดมิแนนซ์ (apical dominance) เมื่อตัดยอดพืชส่วนที่สร้างออกซินออก พบว่าตาข้างเจริญแตกกิ่งก้านได้ และเมื่อนำชิ้นวุ้นที่มีออกซิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไปวางบนส่วนปลายยอดที่ถูกตัดไปแล้วนั้น หรือป้ายออกซินโดยตรงที่ปลายยอดที่ถูกตัด พืชจะไม่เกิดการแตกกิ่งโดยตาข้างจะไม่งอก พืชบางชนิดเช่นทานตะวันมีตาข้างหรือกิ่งก้านน้อย แสดงว่าการข่มของส่วนยอดมีมาก การข่มของส่วนยอดต่อการเจริญของตาข้างจะลดลงตามระยะห่างจากส่วนยอดของพืชนั้น และผันแปรตามลักษณะทางพันธุกรรม อายุของพืช ธาตุอาหารและปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตของพืช การให้ปุ๋ยแก่พืชมากมีผลทำให้การข่มของส่วนยอดลดลง ส่งเสริมการแตกกิ่ง ลักษณะการข่มของส่วนยอดต่อการเจริญของตาข้างเป็นปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของส่วนของพืช 2 ส่วน หรือเรียกว่า สหสัมพันธ์ของการเติบโต (growth corelation)

5. ป้องกันการร่วงของใบ กิ่ง และผล เมื่อพืชอายุมากขึ้นส่วนของใบ ดอก ผลซึ่งแก่เต็มที่จะร่วง การร่วงนี้จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งทางด้านสรีรวิทยาและด้านกายภาพภายในพืช โดยพืชจะสร้างสารไปกระตุ้นทำให้เกิดชั้นแอบซิสชัน (abscission layer) ออกซิน ในบริเวณปลายยอดปลายกิ่งจะยับยั้งการสร้างชั้นแอบซิสชัน ที่บริเวณโคนของก้านทำให้กิ่ง ใบ ดอก ผลไม่ร่วงจากต้น ถ้าต้นไม้สูงๆ ออกซินที่สร้างขึ้นที่บริเวณปลายยอดปลายกิ่งจะเคลื่อนที่ย้ายมาสู่บริเวณส่วนต่อของใบ กิ่ง ดอก ผล กับลำต้นที่อยู่ใกล้บริเวณโคนของลำต้นจะร่วงก่อนที่อยู่ใกล้ยอด

6. เร่งการเกิดดอกของพืชบางชนิด ผลของออกซินในการเร่งการเกิดดอกในพืช ยังไม่เด่นชัด ในสับปะรดที่ได้รับออกซินพวก NAA และ IBA สามารถเร่งการเกิดดอกของสับปะรดได้ แต่เชื่อกันว่าเป็นผลทางอ้อมที่เกิดจากออกซินไปกระตุ้นให้พืชสร้างเอทธีลีนขึ้นมา และเอทธีลีนเป็นตัวไปกระตุ้นให้สับปะรดเกิดดอกอีกทีหนึ่ง

7. การเปลี่ยนเพศดอก การพ่นออกซินที่ช่อดอกของพืชบางชนิด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพศดอก ช่วยในการติดผล พืชที่มีต้นดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ต่างดอกหรือต่างต้น หรือในช่อดอกที่มีปริมาณดอกตัวผู้และดอกตัวเมียต่างกันมาก โอกาสในการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียจะเกิดน้อย ถ้าเกสรตัวผู้มีน้อยหรือไม่แข็งแรงดอกตัวเมียจะขาดเกสรตัวผู้มาผสม การใช้ออกซิน เช่น NAA พ่นที่ช่อดอก ในพืชพวกเงาะพบว่าทำให้ดอกตัวผู้แข็งแรงขึ้น ทำให้มีโอกาสเข้าไปผสมเกสรกับดอกตัวเมียมากขึ้น ส่วนในพืชตระกูลแตง เช่น แตงกวา และฟักทองถ้าฉีดพ่นด้วยออกซินจะช่วยทำให้ดอกตัวเมียเพิ่มมากขึ้น

8. เพิ่มการติดผลและการขยายขนาดของผล ในพืชที่มีเมล็ดมากพบว่าการใช้ 4-CPA กับมะเขือเทศ NAA กับพริก หรือ 2,4-D กับส้มเขียวหวาน ช่วยเพิ่มการติดผล สำหรับพืชที่มีเมล็ดเดียว เช่น มะม่วง ท้อ ไม่พบการตอบสนองของพืชต่อออกซินในด้านการติดผล ภายหลังการผสมเกสร พืชจะมีการสร้างออกซินเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของผล ในสตรอเบอรี่การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เจริญเติบโตของผลจะขึ้นอยู่กับออกซินที่ผลิตขึ้นภายในส่วนที่เรียกว่า เอคีน (achene) หรือผลย่อย ซึ่งถ้าแกะส่วนเอคีนนี้ออกจะทำให้ส่วนของผลสตรอเบอรี่ซึ่งเจริญมาจากฐานรองดอกไม่ขยายตัว

9. สารกำจัดวัชพืช ออกซินในความเข้มข้นที่สูงจะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช เช่น 2,4-D, 2,4,5T, MCPA และ picloram ความเข้มข้นสูงนิยมใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชใบกว้าง

เอทธีลีน (Ethylene) (สมบุญ, 2548)

เอทธีลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่อยู่ในรูปก๊าซ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก เอทธีลีนเป็นก๊าซที่ระเหยได้ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารที่มีคาร์บอนมาก เช่น น้ำมัน ถ่านหิน

การสังเคราะห์เอทธีลีน

เมททิโอนีนเป็นสารเริ่มต้นของการสังเคราะห์ โดยผ่านตัวกลาง S-adenosylmethi- onine, SAM มีเอนไซม์ SAM synthetase เกิดการแตกตัวเป็น 5,S-methylthioadenosine และ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, ACC โดยอาศัยเอนไซม์ ACC synthase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดอะมิโนจะแตกตัวเป็นเอทธีลีน โดยอาศัยเอนไซม์ ACC oxidase (สมบุญ, 2548)

การเคลื่อนที่ของเอทธีลีน

เอทธีลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่อยู่ในรูปก๊าซมีโมเลกุลขนาดเล็ก ละลายน้ำได้ และละลายได้ดีในไขมัน สามารถเคลื่อนที่ได้ดีในพืช โดยกระบวนการแพร่เคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ ช่องว่างระหว่างเซลล์และเนื้อเยื่อพืชได้ หรืออาจเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อพืชที่ตายแล้วแบบแมสโฟล โดยกระบวนการพาสซีฟทรานสปอร์ต เนื่องจากผิวนอกสุดของพืชมีสารพวกขี้ผึ้งและคิวตินเคลือบอยู่ ทำให้เอทธีลีนเคลื่อนที่ออกนอกต้นพืชได้น้อย (สมบุญ, 2548)

ผลของเอทธีลีนที่มีต่อพืช (สมบุญ, 2548; ลิลลี่ และคณะ, 2549)

1. etiolation ทำให้ยอดของต้นกล้าที่งอกในที่มืดโค้งงอคล้ายตาขอ ต้นกล้าที่งอกในที่มืดจะมีลำต้นยาว ใบไม่ขยายตัว สีขาวซีด

2. กระตุ้นการเกิดขนรากและรากพิเศษ

3. กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทางด้านข้าง ต้นกล้าที่เพาะในที่มืด เอทธีลีนมีผลยับยั้งการยืดยาว แต่มีผลให้ขยายเซลล์ออกทางด้านข้าง ทำให้ต้นมีการบวมพอง

4. กระตุ้นการสร้างดอก เอทธีลีนสามารถกระตุ้นการสร้างดอกได้ในพืชบางชนิด เช่นการเกิดดอกของสับปะรด โดยใช้อีทีฟอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. เร่งการสุกของผลไม้ โดยเฉพาะผลไม้พวก climacteric fruit ซึ่งเมื่อแก่จัดจะมีการสร้างเอทธีลีนเป็นจำนวนมาก โดยใช้ในรูปของถ่านก๊าซ และก๊าซอะเซทิลีน

6. เร่งการร่วงของใบ ดอก ผล โดยวิธีการรมควัน หรือในสภาวะเครียดสามารถกระตุ้นให้พืชสร้างเอทธีลีนได้

7. ทำลายการพักตัวของพืช พืชหัวบางชนิด เช่น มันฝรั่ง แกลดิโอลัส ซึ่งต้องการอุณหภูมิต่ำในการทำลายการพักตัว แต่สามารถกระตุ้นการงอกได้ด้วยเอทธีลีน

8. เอทธีลีนยับยั้งการเคลื่อนย้ายออกซิน โดยไปยับยั้งการเคลื่อนที่ของออกซินจากปลายยอดสู่โคนต้น และทางด้านข้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved