

## บทที่ 2 ตรวจเอกสาร

### การปลูกลิ้นจี่บนพื้นที่ภูเขา

ศรีมูล (2530) พบว่าการปลูกลิ้นจี่นอกจากจะปลูกแพร่หลายในเกษตรกรชาวสวนในที่ราบแล้วยังได้เผยแพร่เข้าไปปลูกบนพื้นที่ภูเขาหลายแห่ง ซึ่งพบว่าในวันที่ 8 มกราคม 2529 มีการรายงานการปลูกลิ้นจี่บนเขา 7 แห่ง ทางภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่

1. สถานีทดลองพืชสวนดอยมูเซอ จังหวัดตาก ความสูงจากระดับน้ำทะเล 854 เมตร
2. สวนลิ้นจี่บ้านบ่อทะเลน อยู่บนเขาระหว่างทางเชียงใหม่-แม่สะเรียง สูงจากระดับน้ำทะเล 800 เมตร
3. สวนสองแสน (หลังพระตำหนักภูพิงศ์ราชนิเวศน์) อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ สูงจากระดับน้ำทะเล 1,200 เมตร สามารถผลิตลิ้นจี่นอกฤดูได้
4. สวนโกฟาดอยปุย (หลังโรงเรียนบ้านแม่วาลัย) สูงจากระดับน้ำทะเล 1,250 เมตร
5. สวนเลาขาว (จีนฮ่อ) อยู่ทางทิศตะวันตกหมู่บ้านแม่วาลัย สูงจากระดับน้ำทะเล 1,280 เมตร
6. สวนเฮียซิม อยู่ในดอยปุย สูงจากระดับน้ำทะเล 1,260 เมตร
7. สวนลิ้นจี่แม่ใน ดอยช่างเคียน สูงจากระดับน้ำทะเล 1,300 เมตร เป็นแหล่งผลิตลิ้นจี่นอกฤดูที่ใหญ่ที่สุดในภาคเหนือ

นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตลิ้นจี่นอกฤดูบริเวณดอยผากลอง หมู่บ้านแม่สาใหม่ ตำบลแม่สาน้อย อำเภอแม่ริม จ.เชียงใหม่ ซึ่งอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,200 เมตร (พิทยา, 2551)

### การพัฒนาของตาดอก

เกิดจาก 4 กระบวนการต่อเนื่องกันคือ

1. ระยะชักนำ (Induction stage) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาซึ่งมองไม่เห็นอันเป็นผลจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเนื้อเยื่อเจริญ ในระยะนี้พืชจะมีการตอบสนองต่อการกระตุ้นจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น แสง อุณหภูมิ ทำให้เกิดการสร้างสารเมตาบอลิไทต์ต่างๆ ภายในเซลล์ เพื่อสังเคราะห์ฮอร์โมนที่กระตุ้นการออกดอก และลำเลียงฮอร์โมนไปยังส่วนเนื้อเยื่อเจริญบริเวณตาอดเพื่อเปลี่ยนเป็นตาดอก (สมบุญ, 2548) ในระยะการชักนำพืชแต่ละชนิดจะถูกกระตุ้นจากปัจจัยที่อาจเหมือนกันหรือแตกต่างกันออกไป เช่น ลิ้นจี่ ลำไย และมะม่วง สามารถกระตุ้นได้ด้วยอุณหภูมิต่ำโดยไม้ผลเหล่านี้เมื่อโตเต็มที่แล้วการเจริญทางกิ่งใบจะ

หยุดชะงักลง และอัตราการเจริญของรากลดลง ในขณะที่เดียวกันตาก็จะพัฒนาเข้าสู่สภาพที่พร้อมจะเป็นดอก (Nunez-Elisea and Davenport, 1995; Menzel, 1983)

2. ระยะตื่นตัว (Evocation stage) ในระยะนี้บริเวณเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่นมีการสังเคราะห์สารพันธุกรรมเพิ่มขึ้นและเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสทำให้มีจำนวนเซลล์มากขึ้น (Hopkin and Huner, 2004)

3. ระยะการเกิดตาดอก (Initiation stage) เป็นระยะที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของตาดอกจะเจริญเป็นดอก (floral primodial) โดยเซลล์เนื้อเยื่อเจริญเริ่มขยายมีลักษณะแบน และกว้างออกเนื่องจากเซลล์ใต้ชั้น epidermis แบ่งตัวแบบขนานกับผิว ทำให้เกิดปุ่มเล็กๆ เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดดอก (สมบุญ, 2548)

4. ระยะการพัฒนาของดอก (Development stage) เป็นระยะที่มีการเกิดส่วนประกอบของดอกหลังจากตาเปลี่ยนเป็นตาดอกแล้ว ได้แก่ กลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรตัวผู้ เกสรตัวเมีย และฐานรองดอก โดยทั่วไปแล้วชั้นของกลีบเลี้ยง (calyx) จะเจริญขึ้นมาก่อนส่วนอื่น ตามด้วยชั้นของกลีบดอก (corolla) ชั้นเกสรตัวผู้ (androecium) และชั้นเกสรตัวเมีย (gynoecium) ส่วนประกอบต่างๆ ของดอกจะมีการเจริญและพัฒนาขึ้นมาจนถึงระยะเวลาดอกบาน (anthesis) ถือเป็นขั้นสุดท้ายของการพัฒนาของดอกในพืช (สมบุญ, 2548)

#### การออกดอกของลิ้นจี่

ตามปกติลิ้นจี่เป็นไม้ผลที่ออกดอกติดผลครั้งเดียวในรอบปี และต้องมีการพักตัวก่อนการออกดอก 2-3 เดือน Menzel and Simpson (1988) พบว่าระยะเวลาในการพักตัวก่อนการออกดอกมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการออกดอกของลิ้นจี่ Menzel (1983) พบว่ายอดที่พักตัวอยู่นั้นจะมีลักษณะรูปร่างแบบโค้งงอ (dome-shaped) และล้อมรอบด้วยจุดกำเนิดใบ (leaf primodia) เมื่อมีการพัฒนายอดอ่อน ยอดที่พักตัวนี้จะเปลี่ยนรูปร่างเป็นลักษณะแบนและยึดตัวออก หลังจากยึดตัวออกจะพบว่า มีช่อดอกย่อยหลายช่ออยู่ด้วยกัน หลังจากที่มีการยึดช่อดอกออกไปแล้วในช่วงนี้จะไม่มีการพักตัวอีกจนกว่าดอกจะบาน

#### การควั่น (Girdling)

การควั่นกิ่งเป็นการตัดท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ที่ใบพืชสังเคราะห์ขึ้นไม่ให้เกิดเคลื่อนย้ายผ่านไปยังส่วนล่างเป็นการชั่วคราว ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมอยู่ทางส่วนยอดมากขึ้นและช่วยให้มีการออกดอกสูงขึ้นได้ ซึ่งลิ้นจี่บางพันธุ์ที่ตอบสนองต่อการควั่นกิ่งได้ดี เช่น พันธุ์สงขลา พันธุ์ทิพย์ ส่วนพันธุ์โอวเสียะและพันธุ์คอมจะตอบสนองการควั่นกิ่งไม่ค่อยดี (อนันต์, 2547) การควั่นกิ่งเป็นวิธีการช่วยเพิ่มการออกดอก ติดผลและขนาดผลในพืชไม้ผล อาทิเช่น ส้ม

องุ่น ท้อ และอื่นๆ (Li *et al.*, 2003) นอกจากนั้นการควั่นเป็นการยับยั้งการเกิดชุดใบใหม่ (Flushing) ในเดือนพฤษภาคม และส่งเสริมการออกดอกในเดือนมิถุนายน ซึ่งการตอบสนองต่อการควั่นของพืชจะเกี่ยวข้องกับการสะสมแป้งเพิ่มขึ้นในใบและลำต้นเหนือรอยควั่น แต่อย่างไรก็ตามพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแป้งในกิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตรเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณแป้งภายในใบเลย (Menzel, 1995) ในขณะที่ Garcia-Luis *et al.* (1995) พบว่าการที่มีผลติดอยู่บนต้นจะป้องกันการสะสมคาร์โบไฮเดรตในต้นที่ถูกควั่นกิ่ง สอดคล้องกับ Li *et al.* (2003) ที่พบว่าการควั่นกิ่งสัมพันธ์เป็นการสะสมคาร์โบไฮเดรตเหนือรอยควั่นแต่การสะสมดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตมากเกินไปในช่วงระหว่างนอกฤดู (off-season)

### อุปกรณ์ในการควั่นกิ่ง

**เลื่อย** ใช้เลื่อยโค้งสำหรับการตัดแต่งกิ่ง ที่มีขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งปกติเลื่อยชนิดนี้จะมีความยาวประมาณ 40-50 เซนติเมตร แต่สำหรับเพื่อนำมาใช้ในการควั่นกิ่งโดยเฉพาะอาจจะตัดให้เหลือสั้นเพียงแค่ 20-30 เซนติเมตร เพราะเลื่อยเล็กและสั้นจะทำให้ได้รอยแผลที่เล็กกว่าเลื่อยยาว แม้จะมีขนาดของฟันเลื่อยเท่ากัน เลื่อยที่ใช้ได้ดีจะต้องมีคมและจะต้องไม่มีฟันที่สึกมาก

**ลวด** ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร (ลวดเบอร์ 8) จะเหมาะสมกว่าเบอร์อื่นๆ แต่ลวดทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.1 มิลลิเมตร จะใช้ได้ง่ายสะดวก เพราะมีความอ่อนตัวได้มากและยังไม่เป็นสนิม เข้กับร่องรอยเลื่อยได้ดี

**กิมมัดลวด** เป็นกิมมัดลวดธรรมดา แต่ควรมีขนาดเล็ก เนื่องจากสะดวกต่อการใช้ หลังจากฟันลวดเข้าไปในร่องของรอยเลื่อยแล้วก็จะใช้กิมมัดลวดให้เข้าแน่นกระชับ (อนันต์, 2547)

### การเลือกต้นและกิ่งที่จะทำการควั่น

ต้นลีนี่ที่จะทำการควั่นจะต้องได้รับการบำรุงต้นให้สมบูรณ์ เช่นการตัดแต่งกิ่ง การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ การฉีดยาป้องกันโรคและแมลง ใบแก่จะต้องมีสีเขียวมัน แดกใบอ่อนในฤดูฝน 2 ครั้ง สำหรับกิ่งที่จะทำการควั่นควรเลือกกิ่งที่ไม่บังแสงแดดกับกิ่งอื่น เป็นกิ่งที่มีส่วนกลมมากที่สุด ส่วนการเลือกขนาดกิ่งที่จะทำการควั่นจะเลือกตามอายุของลีนี่ดังนี้

อายุ 4-6 ปี	เลือกกิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	0.5-2.0 นิ้ว
อายุ 7-10 ปี	เลือกกิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	2.0-3.0 นิ้ว
อายุ 11-15 ปี	เลือกกิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	3.0-8.0 นิ้ว

### การเลือกระยะเวลาวันกิ่ง

การเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการควั่นกิ่งลินจี่ในแต่ละสวนแต่ละต้นจะแตกต่างกัน ถ้าเลือกระยะเวลาวันกิ่งได้เหมาะสมก็จะเป็นผลดีหลายประการ เช่น ทำให้ลินจี่ต้นนั้นออกดอกตามฤดูกาล ดอกที่ออกมาเป็นช่อสั้น มีเปอร์เซ็นต์ดอกตัวเมียมาก บาดแผลที่ควั่นหายสนิทภายใน 60 วัน (อนันต์, 2547)

ระยะที่เหมาะสมในการเริ่มลงมือควั่นกิ่งคือ ช่วงที่ต้นลินจี่แตกใบอ่อนครั้งที่ 2 หรือ ประมาณเดือนตุลาคมของทุกปี แต่ในช่วงดังกล่าวจะเห็นได้ว่าต้นที่ลินจี่แต่ละต้นจะแตกใบอ่อนไม่พร้อมกัน ดังนั้นการเลือกระยะเวลาวันกิ่งของลินจี่แต่ละต้นภายในสวนเดียวกันจึงแตกต่างกันไป บางต้นอาจควั่นกิ่งได้ในช่วงเดือนตุลาคม บางต้นควั่นกิ่งได้ในช่วงปลายเดือนตุลาคมหรือต้นเดือนพฤศจิกายน (อนันต์, 2547) Menzel and Paxton (1988) พบว่าการควั่นกิ่งช่วยส่งเสริมการออกดอกของลินจี่ แต่ระยะเวลาในการควั่นกิ่งก็มีความสำคัญด้วยเช่นกัน คือหากทำการควั่นกิ่งเร็วเกินไปจะทำให้เกิดการแตกใบอ่อนในฤดูหนาวได้ เช่นการศึกษาช่วงเวลาของการควั่นกิ่งในส้มถ้าควั่นกิ่งในช่วงเดือนกรกฎาคม และเดือนกันยายน (เริ่มเข้าสู่ฤดูใบไม้ร่วง) จะมีการเพิ่มปริมาณของน้ำตาลในใบเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ทำการควั่นกิ่งในช่วงฤดูหนาวช่วงเดือนกันยายนจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงมาก (Mataa *et al.*, 1998) ในขณะที่ พาเวินและนพดล (2543) พบว่าต้นลินจี่ที่ผลิใบใกล้ช่วงเวลาของการออกดอกทำให้โอกาสของการออกดอกลดน้อยลง จากการสังเกตต้นลินจี่ที่ผลิใบอ่อนเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม พบว่าออกดอกน้อยลงหรือแทบไม่มีเลย เช่นเดียวกับ วรินทร์และคณะ (2545) กล่าวว่าหากลินจี่ผลิใบอ่อนกระชั้นชิดกับช่วงเวลาของการออกดอกจะทำให้โอกาสในการเกิดดอกลดลง แม้ว่าจะได้รับอุณหภูมิต่ำก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใบและยอดที่ยังอ่อนอยู่ไม่มีความสมบูรณ์เพียงพอ หรือเกิดจากใบอ่อนที่มีสารยับยั้งการออกดอก นอกจากนี้การควั่นกิ่งจะได้ผลดีเมื่อควั่นขณะที่ตาลินจี่อยู่ในระยะพักตัว และได้ผลน้อยลงมากถ้าควั่นในช่วงการเจริญทางใบ อีกทั้งการควั่นกิ่งจะไม่ทำให้ลินจี่ออกดอกถ้าควั่นหลังผลิใบใหม่ (Menzel, 1983, Menzel and Paxton, 1986)

### วิธีการควั่นกิ่ง

ใช้เลื่อยโค้งที่เตรียมไว้แล้วเลื่อยกิ่งที่ตรงตำแหน่งที่กลมที่สุดในส่วนของกิ่งนั้น โดยเลื่อยเบาๆพอให้คมเลื่อยเข้าทะลุเปลือก ไปถึงเยื่อเจริญเท่านั้น ให้ปลายคมเลื่อยถูกเนื้อไม้ชนิดหนึ่งเพื่อตัดเยื่อเจริญ แต่อย่าให้คมเลื่อยถูกเนื้อไม้มากเพราะจะเป็นอันตรายกับกิ่งลินจี่นั้น เมื่อทำการเลื่อยเปลือกโดยรอบกิ่งแล้วขั้นตอนต่อไปใช้ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร รัศให้เข้าร่องฟันเลื่อยรอบกิ่ง แล้วใช้คีมดึงขั้วลวด (อนันต์, 2547)

แต่อย่างไรก็ตามเกษตรกรชาวสวนบนพื้นที่สูงมักนิยมควั่นกิ่งเพียงอย่างเดียวโดยจะไม่นิยมใช้ลวดรัดกิ่ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากต้องแก้ลวดที่รัดกิ่งอีกรอบหนึ่งออกซึ่งจะเป็นการเสียเวลา

### ผลของการควั่นกิ่ง

การควั่นกิ่งสามารถเพิ่มการออกดอกของลินจี่ได้อาจเนื่องมาจากการควั่นกิ่งทำให้เกิดบาดแผล ซึ่งโดยปกติแล้วเมื่อพืชมีบาดแผลจะสร้างสาร phenol ขึ้นมาเพื่อป้องกันเชื้อโรคเข้าทำลาย (Salisbury and Ross, 1978) ซึ่งสารประกอบฟีนอล เช่น tannin จะลดการยึดของต้นอ่อนของถั่วแระ และต้นอ่อนจะยึดตัวได้รวดเร็วอีกครั้งเมื่อเพิ่มจิบเบอเรลลิน (GAs) (Green and Corcoran, 1975) ดังนั้นสารประกอบฟีนอลที่เกิดจากการควั่นกิ่งจะลดการทำงานของ GAs นอกจากนี้การควั่นกิ่งยังชักนำการสร้างไซโตไคนิน เพื่อสร้างเนื้อเยื่อทดแทนส่วนที่ถูกควั่น (Salisbury and Ross, 1978) ซึ่งไซโตไคนินที่เพิ่มขึ้นอาจชักนำการสร้างตาออก นอกจากนี้การควั่นกิ่งเพิ่มการออกดอกของลินจี่พันธุ์ Brewster 15 เท่า (Menzel, 1983; Nakata, 1953, 1956) และเพิ่มผลผลิต 40-80 % (Menzel and Simpson, 1987) วรินทร์และคณะ (2545) พบว่าการควั่นกิ่งที่มีขนาดรอยแผล 0.95 มิลลิเมตร ร่วมกับการให้สารเอทิฟอน (ethephon) 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมการผลิใบอ่อนได้ถึง 9 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้ควั่นกิ่ง ซึ่งการยับยั้งการผลิใบอ่อนอาจก่อให้เกิดสารยับยั้งการเจริญเติบโต ที่สามารถยับยั้งการผลิใบได้ระดับหนึ่ง (Menzel and Paxton, 1986) นอกจากนี้ในช่วงเวลาของการควั่นกิ่งก็มีผลต่อการออกดอก Ramburn (2000) พบว่าการควั่นกิ่งลินจี่พันธุ์ Tai So กับกิ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-4 เซนติเมตร ในระยะใบแก่ ช่วยส่งเสริมให้ลินจี่ออกดอกได้ แต่การควั่นกิ่งจะประสบความสำเร็จได้จะต้องมีอุณหภูมิต่ำร่วมด้วย ซึ่งพิทยาและคณะ (2546) พบว่าการควั่นกิ่งหลังจากใบใหม่ในเดือนสิงหาคมเริ่มแก่ จะช่วยป้องกันการแตกยอดใหม่ในเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม และจะช่วยทำให้ต้นลินจี่ออกดอกได้ถึง 87-95 เปอร์เซ็นต์ ถ้าอุณหภูมิต่ำพอ แสดงว่าการควั่นกิ่งและอุณหภูมิต่ำต่างเป็นปัจจัยจำเป็นสำหรับการกระตุ้นการออกดอกของลินจี่ ซึ่งการควั่นกิ่งจะทำให้ปลายยอดมีการพักตัวช่วงหนึ่ง อาจเป็นผลมาจากการที่ต่ออาหารบางส่วนถูกตัดทำให้เกิดการสะสมอาหารและสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโต (Menzel and Paxton, 1986) Menzel (1983) พบว่าการควั่นกิ่งและให้ Auxin เข้าไปทางรอยควั่นจะช่วยลดการแตกใบอ่อนในช่วงเจริญทาง vegetative ได้ นอกจากนี้ในลินจี่แล้วการควั่นกิ่งยังนิยมทำในไม้ผลหลายชนิด Hackney *et al.* (1995) ทำการควั่นกิ่งในต้นอะโวคาโด พบว่าจำนวนผลเฉลี่ยต่อต้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การควั่นกิ่งยังนิยมทำในส้ม (Li *et al.*, 2003) และมะกอก (Eris *et al.*, 1993) เป็นต้น

### ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการออกดอกของลินจี่

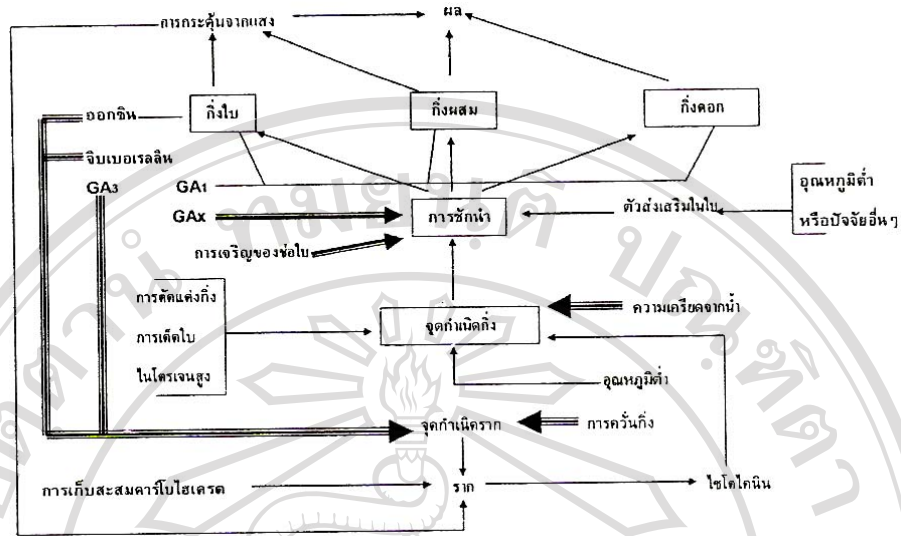
การสร้างตาออกเป็นระยะแรกในการเปลี่ยนการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ไปสู่การเจริญทางด้านสืบพันธุ์ เพราะดอกคืออวัยวะสืบพันธุ์ของต้นไม้ หลังจากที่มีพืชมีการเจริญเติบโตทางกิ่งใบจนถึงอายุที่มีความพร้อมที่จะออกดอก ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการออก

ดอกได้ ซึ่งกระบวนการเกิดดอกเกี่ยวข้องกับกระบวนการกระตุ้นจากสภาพแวดล้อม คือ ความยาววัน และ อุณหภูมิ ที่เหมาะสม รวมถึงปัจจัย ความชื้น อาหาร และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (คณัย, 2337) ในแต่ละปีพื้นที่ที่อยู่ระหว่างเส้นรุ้งต่างกันจะมีอุณหภูมิต่างกันอย่างชัดเจน โดยเส้นรุ้ง ที่สูงขึ้นจะทำให้มีอากาศหนาวกว่า แต่ในเขตร้อนที่ต่ำกว่าเส้นรุ้งการออกดอกน้อยมาก (Menzel, 2001) สาเหตุเป็นเพราะว่าอุณหภูมิต่ำเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับชักนำการออกดอก จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จึงได้มีการนำสภาพอากาศและสรีรวิทยาของพืชมาพิจารณาเกี่ยวกับการออก ดอก (Menzel and Waite, 2005) ต่อมาจึงได้มีการเสนอโมเดลสำหรับการเจริญทางกิ่งใบและการ เจริญทางด้านส่วนสืบพันธุ์ของลินจี่และลำไยไว้ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบการเจริญคล้ายกับมะม่วง (Davenport and Nunez, 1997) และส้ม (Davenport, 1990)

### อุณหภูมิ

เป็นที่ทราบกันดีว่าอุณหภูมิต่ำส่งผลให้เกิดการออกดอกในลินจี่และลำไย (Menzel and Waite, 2005) Nakata and Watabana (1966) จึงได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิช่วงกลางคืนที่มีสภาพ อากาศเย็น 14 องศา สามารถชักนำให้ลินจี่ออกดอกได้ภายใต้สภาวะวันสั้น 6 ชั่วโมงและวันยาว 16 ชั่วโมง ดังนั้นลินจี่จึงเป็นพืชที่มีการออกดอกโดยไม่ตอบสนองต่อช่วงความยาววันซึ่งการทดลองนี้ ชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิต่ำสามารถกระตุ้นการออกดอกได้

นอกจากนั้นการพักตัวของยอดยังเป็นกลไกภายในของลินจี่ที่มีความจำเป็นสำหรับการ ชักนำให้เกิดตาดอก ระยะเวลาการพักตัวที่ยาวนานจะช่วยให้การชักนำให้เกิดตาดอกขึ้น เมื่อผ่าน ช่วงฤดูหนาวซึ่งมีความจำเป็นสำหรับการชักนำก็จะปรากฏช่อดอกขึ้น (O' Hare, 2004; O' Hare, 1989) ในการแตกใบอะโวคาโดแสดงให้เห็นถึงความไม่แน่นอนที่ยังคงอยู่ระหว่าง การเจริญของ รากและยอด (Whiley *et al.*, 1988) แต่ O' Hare (2002) พบว่าอุณหภูมิมิมีผลโดยตรงต่อการเจริญของ ราก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยทำให้รากเจริญเติบโตมากขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเจริญของยอดที่ จะพัฒนาไปเป็นตาดอกเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำวันต่อกลางคืนเท่ากับ 18/13 องศาเซลเซียส Menzel and Simpson (1988) พบว่าอุณหภูมิต่ำที่มีผลต่อการออกดอกของลินจี่ 7 พันธุ์ คือ Tai So, Bengal, Souey Tung, Kwai May Pink, Kwai May Red, Salathiel และ Wai Chee พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (25/20 และ 30/25 องศาเซลเซียส) จะกระตุ้นการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผล ต่อชนิดของช่อดอก ที่อุณหภูมิ 20/15 องศาเซลเซียส เกิดช่อดอกที่มีใบมากกว่าที่อุณหภูมิ 15/10 องศาเซลเซียส ลินจี่ทุกพันธุ์จะออกดอกที่ 15/10 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 20/15 องศา เซลเซียส จำนวนดอกของพันธุ์ Wai Chee >Salathiel >Kwai May Pink >Tai So, Bengal >Souey Tung >Kwai May Red



ภาพที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับการออกดอกของลำไยและลิ้นจี่ เส้นเดียวคือตัวส่งเสริมและเส้นคู่คือตัวยับยั้ง (ดัดแปลงจาก; Menzel and Waite (2005))

Menzel and simson (1995) สังเกตว่า อุณหภูมิสูงสุดถึงต่ำสุด ที่ 25 ถึง 20 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านี้ จะกระตุ้นการเติบโตทางกิ่งใบของลิ้นจี่พันธุ์ Kwai Mai Pink และ Cahino การชักนำ การเกิดดอกจะเกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิ 15 ถึง 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างของทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่การได้รับอุณหภูมิช่วงกลางๆ กลายเป็นยอดแบบผสม แป้งที่ถูกเก็บสะสมไว้ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาทางด้าน vegetative หรือการกำเนิดดอก

Chattrakul (2005) พบว่าอุณหภูมิต่ำมีอิทธิพลอย่างยิ่งในการส่งเสริมการออกดอกของ ลิ้นจี่พันธุ์ซงฮวย ต้นลิ้นจี่จะออกดอกได้ดีเมื่อปลูกอยู่ในสภาพอุณหภูมิต่ำ ที่มีอุณหภูมิกลางวันต่อ กลางคืน เท่ากับ 15/10 องศาเซลเซียส นาน 38 วัน หลังจากนั้นต้นพืชต้องได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น เล็กน้อย (27/24 องศาเซลเซียส) เพื่อกระตุ้นกิจกรรมการพัฒนาของตาดอก โดยสามารถมองเห็นตา ดอกด้วยตาเปล่าได้ภายในวันที่ 17 หลังจากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ขณะที่ต้นที่ปลูกภายใต้สภาพ อุณหภูมิปกติไม่มีการสร้างตาดอกแต่มีการแตกใบอ่อน นอกจากนี้ O' Hare (2004) พบว่าอุณหภูมิ รากและอุณหภูมิยอดที่ได้รับอุณหภูมิต่ำร่วมกันจะช่วยสนับสนุนทำให้การพักตัวนานขึ้น ส่งผลให้ ยอดแทงกลายเป็นดอก

### อัตราการสังเคราะห์แสง

กระบวนการสังเคราะห์แสงเกี่ยวข้องกับแก๊สออกซิเจนและคาร์บอน ไดออกไซด์ ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถตรวจวัดอัตราการสังเคราะห์แสงด้วยแสงได้จากการติดตามการ เปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของแก๊สทั้ง 2 ชนิดในอดีตนักวิทยาศาสตร์ใช้เครื่องโครมาโตกราฟฟี

ในการศึกษา แต่ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าในการพัฒนาเครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้แสงเหนือแดง (Infrared Gas Analyzer, IRGA) ให้มีขนาดเล็กลงทำให้สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น (พูนพิภพ, 2549)

การแลกเปลี่ยนก๊าซที่ใบเป็นตัวชี้วัดของกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นใน mesophyll cells (Caemmerer *et al.*, 1981) เส้นโค้ง (curves) ของการตอบสนองคาร์บอนไดออกไซด์มักจะถูกใช้เป็นตัวคาดคะเนประสิทธิภาพของการเกิดกระบวนการ carboxylation และเป็นปัจจัยที่จำกัดขบวนการสังเคราะห์แสง (Sharkey *et al.*, 1986) ในช่วงระหว่างการสร้างและพัฒนาของดอก จะมีความต้องการ photosynthates ที่มากขึ้นเพื่อที่จะเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงของใบที่ติดอยู่กับกิ่งในต้นแอปเปิ้ล (Masarovicova *et al.*, 1994) ซึ่งถือว่าทำให้เกิดความต้องการในส่วนของ sink ที่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของช่อดอกที่กำลังพัฒนา (Ferree *et al.*, 1992)

Shivashankara *et al.* (2000) วัดอัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปิดปากใบและการสะสมความเข้มข้นของ carbon dioxide ในกิ่งมะม่วงที่ออกดอกและไม่ออกดอกในพันธุ์ปกติ (Thothapuri cv.) และพันธุ์ไม่ปกติ (Langra cv.) พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงและการเปิดปิดปากใบจะสูงในกิ่งที่ไม่ออกดอกเมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งที่ออกดอกของทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยการสังเคราะห์แสงที่ลดลงอาจไม่เกี่ยวข้องกับความแปรปรวนของสถานะของน้ำในใบเพราะปริมาณน้ำสัมพัทธ์ water content (RWC) ของใบทั้ง 2 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกัน Stitt *et al.* (1989) พบว่าการสะสมของคาร์โบไฮเดรตในกิ่งที่มีการออกดอกสามารถที่จะไปยับยั้งการทำงานของกระบวนการ carboxylation แต่ความต้องการของคาร์โบไฮเดรตที่เพิ่มมากขึ้นในช่วงการออกดอกอาจจะไปทำให้คาร์โบไฮเดรต ที่เก็บสะสมไว้ก่อนหน้านี้นี้ลดลง ซึ่งผลที่ตามมาจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นไม่จำเป็นเสมอที่กิ่งจะมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว แต่อาจจะมีการสะสมสารยับยั้งภายในกิ่งที่มีการออกดอก (Shivashankara *et al.*, 2000)

#### ธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องกับการออกดอก

##### 1. ไนโตรเจน (Total nitrogen , TN)

ในปัจจุบันพบว่าธาตุอาหาร (CHO) เป็นเพียงส่วนสนับสนุนการออกดอกเท่านั้น ไม่ได้เป็นตัวควบคุมการออกดอก (Bernier *et al.*, 1985) Menzel *et al.* (1988) พบว่าในระยะหนึ่งเดือนก่อนการออกดอก กิ่งลิ้นจี่พันธุ์สงฮวย (Tai So) เริ่มผลิใบใหม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อไนโตรเจนในใบสูงกว่า 1.5% และจำนวนกิ่งที่ผลิใบใหม่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อไนโตรเจนในใบสูงกว่า 1.75% อย่างไรก็ตามระดับไนโตรเจนในใบลิ้นจี่ในสวนเกษตรกรรมต่ำมาก เนื่องจากการควบคุมปริมาณไนโตรเจนในใบเพื่อป้องกันการผลิใบทำให้ไนโตรเจนในใบสำรองมีน้อยมาก ดังนั้นหลัง



การแทงช่อดอกในโตรเจนในดินจึงเป็นแหล่งเดียวสำหรับการเจริญเติบโตของดอกและผลซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงในใบ อย่างไรก็ตามดินไม่อาจใช้เวลานานพอสมควรในการดูดซับธาตุอาหารจากดินเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญทางใบและดอก เนื่องจากการขาดน้ำและไนโตรเจนในระดับรุนแรงและยาวนานอาจจะลดประสิทธิภาพการทำงานของรากโดยเฉพาะต้นที่ถูกควั่นกิ่งซึ่งอาจทำให้ดินไม่ได้รับไนโตรเจนไม่ทันต่อความต้องการเพื่อการสังเคราะห์แสง (Memzel and Simpson, 1987) ในขณะที่ Diczbališ *et al.* (2007) พบว่าต้นลำไยที่มีสัดส่วนของไนโตรเจนสูงไม่พบการเกิดดอก อาจเนื่องจากอิทธิพลของไนโตรเจนที่มีผลต่อสมดุลของการเจริญเติบโตทางด้านกิ่งใบและการเจริญทางด้านสืบพันธุ์ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในใบสูงจะส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านกิ่งใบ ในขณะที่ไนโตรเจนในใบต่ำมีบทบาทในการออกดอกของลำไยหลังจากได้รับสาร  $KClO_3$  นอกจากนี้ Sakakibara *et al.*, (2006) ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและไซโตไคนิน พบว่าไนเตรทจะกระตุ้นการทำงานของซุกซิน ที่ใช้ในรากและใบเพื่อที่จะไปสร้างกรดอะมิโนสำหรับการเจริญเติบโต ในขณะที่การสังเคราะห์ไซโตไคนินจะถูกควบคุม (up-regulate) โดยไนเตรท ส่วนฮอร์โมนไซโตไคนินถูกกล่าวว่าเป็นตัวควบคุมการตอบสนองทางสัณฐานวิทยา และความสามารถในการสังเคราะห์โปรตีน

## 2. คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่ส่วนของโครงสร้าง (Total nonstructural carbohydrate, TNC)

มีผู้รายงานเกี่ยวกับการออกดอกของพืชที่เชื่อว่าปริมาณธาตุอาหารโดยอัตราส่วนระหว่างคาร์โบไฮเดรตและไนโตรเจนสูง (C/N ratio) เป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมการออกดอก ในขณะที่อัตราส่วน C/N ต่ำ จะส่งเสริมการสร้างใบและกิ่งก้าน ซึ่งปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างเป็นแหล่งของพลังงานที่พืชเก็บไว้ในส่วนของ vegetative organ และนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต ประกอบด้วยน้ำตาล แป้ง dextrin fructosans เป็นต้น โดยไม่รวมคาร์โบไฮเดรตในรูปโครงสร้าง (structural carbohydrate) (Salisbury and Ross, 1978) จากการรายงานพบว่าแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตในรูปที่สะสมมากที่สุดที่ต้นลำไย ซึ่งคาดว่า การสะสมแป้งในยอดที่น้อยอาจเกิดจากการสะสมมากในเปลือก (bark) ฉะนั้นจึงได้ทำการตัด section ยอดหลังจากย้อมสีด้วยไอโอดีน (iodine staining) พบว่าการสะสมแป้งที่ยอดไม่ได้เป็นผลมาจากส่วนเปลือกแต่อาจเป็นผลเนื่องมาจากการสะสมแป้งในท่อน้ำ (xylem ray) อีกทั้งยังพบว่าคาร์โบไฮเดรตมีการสะสมมากในส่วนของพาราเณไคมา (parenchyma) และเซลล์ส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับท่อน้ำ ถ้าหากมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตมากเกินไป จะทำให้มีการสะสมแป้งในส่วนในสุดของยอด (Li *et al.*, 2003)

นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ภายในไม้เนื้อแข็งตามส่วนต่างๆ จะมีจุดประสงค์ในการใช้ที่แตกต่างกัน อาทิเช่น ทำหน้าที่เป็นตัวเคลื่อนย้ายคาร์บอน เก็บรักษาคาร์บอน โดยตำแหน่งที่มีการสะสมมากที่สุดจะอยู่ในส่วนของเปลือกและเนื้อไม้ที่มีชีวิตอยู่ โดยอวัยวะเหล่านี้จะมีการสะสมมากในช่วงเวลาที่เหมาะสมและจะถูกใช้ไปในช่วงการเจริญเติบโตของใบ การสร้างราก

ใหม่และกิ่งแขนง รวมทั้งการเติบโตของลำต้นและรากในช่วงต้นของฤดูใบไม้ผลิและช่วงหน้าร้อน ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว TNC ที่สะสมอยู่ในลำต้นมักอยู่ในรูปของแป้ง พบพรุกแทนในปริมาณน้อยมาก นอกจากนี้ในไม้ยืนต้นจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และมอลโตสในพืชบางชนิด เช่น *Acer*, *Populus* และ *Araucaria* (Magle *et al.*, 2000)

จากการทดลองของ Chaitrakulsup (1981) พบว่าปริมาณ TNC ในใบหรือในกิ่งของลิ้นจี่จะเพิ่มขึ้นในช่วงการออกดอกหรือแตกใบอ่อน ในขณะที่ระดับของ TN ไม่ได้ลดลงหรือเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในต้นมะกอก (*olive*) (Ulger *et al.*, 2004) พรพันธ์และสุรพันธ์ (2530) รายงานว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตในกิ่งยอดของส้มเขียวหวาน มีแนวโน้มลดลงและต่ำสุดในระยะที่มีการแตกยอด และในระยะที่มีการแทงช่อดอก มีการเคลื่อนย้ายสารพวกคาร์โบไฮเดรตในกิ่งและใบลดลง ซึ่งศิริเพ็ญ (2544) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TNC ในยอดลิ้นจี่พันธุ์สงขลาในช่วงก่อนการแตกใบอ่อน พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TNC ในยอดลิ้นจี่ มีแนวโน้มลดลงจากสัปดาห์ที่ 8 ก่อนการแตกใบอ่อน และลดลงเรื่อยๆ ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 2 ก่อนการแตกใบอ่อน พืชบางชนิดได้แก่ มะม่วง ลำไย มีอายุหลายปีไม่สามารถสร้างดอกได้ในบางปีทั้งที่อากาศและสภาพแวดล้อมภายนอกเหมาะสม อาจเนื่องมาจากอาหารสะสมภายในต้นมีไม่เพียงพอ ส่วนในบางปีที่ไม่ผลที่ติดผลมาก พบว่าบางครั้งในปีถัดไปจะสร้างดอกและผลน้อย ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับอาหารสะสมภายในกิ่งของพืชมีน้อย (สมบุญ, 2548)

นอกจากนั้น Menzel *et al.* (1995) พบว่าการสะสมแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการพัฒนาของช่อดอกแสดงว่าการออกดอกไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแป้งที่สะสมก่อนการออกดอก นอกจากนี้ในอุณหภูมิต่ำ (20/12.5 องศาเซลเซียส) ชักน้ำให้ลิ้นจี่ออกดอก ขณะที่ลิ้นจี่ไม่ออกดอกที่อุณหภูมิสูง (30/12.5 องศาเซลเซียส) ทั้งที่ปริมาณแป้งที่สะสมในใบและกิ่งไม่มีความแตกต่างกัน (Menzel *et al.*, 1989) จากข้อมูลเบื้องต้นอาจจะสรุปได้ว่าปริมาณแป้งในกิ่งอาจไม่อยู่ในระดับต่ำจนเป็นสาเหตุหลักของการออกดอกลิ้นจี่ แต่ปริมาณแป้งในกิ่งของต้นที่ออกดอกสูงกว่าต้นที่ไม่ออกดอกอาจเป็นผลมาจากต้นที่ไม่ออกดอกมีการผลิใบใหม่และการเจริญของใบต้องการแป้งมากกว่าการเจริญของดอก ดังจะเห็นได้จากในช่วงของการเจริญทางใบปริมาณแป้งที่สะสมในกิ่งลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ในช่วงของการเจริญของดอกมีการสะสมแป้งในกิ่งเพิ่มขึ้น (Menzel *et al.*, 1995)

### ใบที่เกี่ยวข้องกับการออกดอก

Ying *et al.* (2004) ได้ทำการทดลองคว้นกิ่งลิ้นจี่พันธุ์ Mauritius และ Brewster ประกอบด้วยกรรมวิธีเด็ดใบทิ้งและไม่เด็ดใบ พบว่าหลังจากที่ลิ้นจี่ได้รับอุณหภูมิต่ำทั้งสองกรรมวิธี ในกรรมวิธีที่มีใบติดอยู่ที่กิ่งจะมีการกำเนิดตาออก (reproductive shoot) ในขณะที่กิ่งที่เด็ด

ใบทั้งทั้งหมดไม่พบการเกิดตาขอดแต่พบเพียงตาใบเท่านั้น อาจกล่าวได้ว่าใบเป็นแหล่งสำคัญในการสร้างสารฟลอริเจน (florigen) เพื่อส่งเสริมการออกดอกของลินจี่และมะม่วง โดยไม่พบความแตกต่างระดับปริมาณคาร์โบไฮเดรตหรือไนโตรเจนในใบทั้งในลินจี่และมะม่วง (Davenport and Nunez-Elisea, 1997; Nunez-Elisea *et al.*, 1996; Reece *et al.*, 1949) นอกจากนี้ Wilkie *et al.* (2008) พบว่า ใบแก่เป็นแหล่งของสารกระตุ้นการออกดอกที่จำเป็นในมะม่วงหลังจากชักนำการออกดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้พบว่าใบแก่ในลินจี่มีความจำเป็นต่อการกำเนิดดอก แต่อย่างไรก็ตามถ้าอุณหภูมิที่รากสูงจะยับยั้งการกำเนิดดอกในลินจี่แม้ว่ายอดจะได้รับอุณหภูมิต่ำที่จะชักนำให้เกิดการออกดอกก็ตาม

## ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการออกดอก

### 1. ออกซิน (auxin)

ออกซินมีลักษณะทางเคมีเป็นสาร Indole-3-acetic acid หรือที่เรียกย่อๆว่า IAA ซึ่งปัจจุบันเชื่อว่าออกซินส่วนใหญ่ที่พบในพืชและสภาพธรรมชาติ อยู่ในรูป Indole ทั้งสิ้น โดยที่ IAA เป็นสารที่สำคัญที่สุด นอกจากนั้นยังพบในรูปของ indole-3-acetaldehyde (IAAld) หรือ indole-3-pyruvic acid (IPA), Indol-3-ethanol และ Indole-3-acetonitrile (IAN) ซึ่งสารทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถเปลี่ยนเป็น IAA ได้โดยพืชจะสังเคราะห์ออกซินที่ใบอ่อน จุดกำเนิดของใบและเมล็ดซึ่งกำลังเจริญเติบโต (Hopkins and Huner, 2004) Bangerth *et al.* (2000) พบว่าสารตั้งต้นที่แตกต่างกันในแต่ละพืช ซึ่งแท้จริงแล้วในพืชชนิดเดียวกัน ในเนื้อเยื่อที่ต่างกันหรือสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน IAA ที่ได้จากการสังเคราะห์ อาจเป็นตัวควบคุมซึ่งกันและกัน เช่น การยับยั้งการเคลื่อนย้าย IAA จากใบ โดย IAA ที่มาจากยอด ซึ่งปริมาณ IAA ที่เคลื่อนย้ายมาจากยอดในปริมาณที่สูงกว่าจะยับยั้งการเคลื่อนย้าย IAA จากใบ ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า “autoinhibition”

ออกซินเป็นฮอร์โมนชนิดแรกที่มีการสังเคราะห์ในใบอ่อนและเมล็ดและลำเลียงไปยังปลายราก (Davie, 1995) Menzel and Waite (2005); Shigeura (1948) เป็นบุคคลแรกที่มีการใช้ naphthalene acetic acid (NAA) โดยพ่นให้ทางใบในช่วงเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม (ช่วงปลายฤดูร้อนและต้นฤดูหนาว) ในฮาวาย ทำให้จุดกำเนิดของยอดที่จะพัฒนาไปเป็นกิ่งใบถูกยับยั้งในฤดูใบไม้ร่วง ส่วนในฤดูหนาวจะส่งเสริมให้เกิดการออกดอก ในขณะที่พืชมีการเจริญเติบโตในส่วนของ การสืบพันธุ์พบการเปลี่ยนแปลงของออกซิน จากการเป็นตัวกระตุ้นในระยะเวลาพัฒนาทางลำต้นและใบ มาเป็นตัวยับยั้งการพัฒนาทางทางการสืบพันธุ์ โดยพบว่า ออกซินยับยั้งการเกิดตาออก มีการศึกษาการให้ออกซินกับพืชวันสั้น ในสภาพวันสั้นจะทำให้พืชไม่ออกดอก แสดงว่าออกซินที่ได้จากภายนอกเป็นตัวยับยั้งการสร้างตาออก (Zeevaart, 1987) Liang *et al.* (1987) และ Chen (1990) ได้อธิบายระดับ IAA ของลินจี่ในใบอ่อนสูงกว่าในใบแก่ และยังพบว่าการเกิดกิ่งดอกได้เมื่อระดับ

IAA ต่ำเท่านั้น ซึ่งออกซินที่สังเคราะห์ในใบอ่อนจะยับยั้งการเจริญของตาที่กำลังแตกและออกซินจะถูกทำลายไปยังรากโดยผ่านทางลำต้นหลังจากที่แตกช่อแล้ว (Lomax *et al.*, 1995)

นอกจากนั้นออกซินยังเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมให้เกิดจุดกำเนิดราก และการพัฒนาของราก (Menzel and Waite, 2005; Torrey, 1976) และเมื่อความเข้มข้นของออกซินที่รากสูงจะยับยั้งยอดและส่งเสริมการเจริญของราก ซึ่งรากที่เกิดขึ้นใหม่จะกลับไปเป็นแหล่งสร้างไซโตไคนินที่เป็นฮอร์โมนที่ส่งเสริมการเกิดจุดกำเนิดราก ซึ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่างลำต้นและราก จะมีระดับของไซโตไคนินเพิ่มขึ้น เมื่อระดับของออกซินลดลง (Menzel and Waite, 2005) แม้ว่าออกซินปริมาณสูงจะยับยั้งการเกิดตาดอกก็ตาม แต่ออกซินก็ยังจำเป็นต่อพัฒนาการของดอก ในระยะที่ดอกมีการเจริญพัฒนาหากพืชขาดออกซินจะทำให้ห่อหุ้มใบในการสืบพันธุ์ของดอกไม้สมบูรณ์ เช่นการเกิดยอดเกสรตัวเมีย หรืออวัยวะของดอกเจริญไม่สมบูรณ์ โดยพบลักษณะดอกที่ผิดปกติ ในพืชที่เกิดความผิดปกติของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ออกซิน (Cheng and Zhao, 2007) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Koshita *et al.* (1999) ที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของฮอร์โมนในใบ และตาดอกที่กำลังพัฒนาของส้ม พบว่าในช่วงที่สร้างตาดอกปริมาณ IAA ลดลงต่ำกว่าในระยะที่มีการเจริญและพัฒนาตาดอก

## 2. ไซโตไคนิน (Cytokinin, CK)

แหล่งที่มีการสังเคราะห์ไซโตไคนินในพืชที่สำคัญ คือ ราก ปริมาณไซโตไคนินจะพบมากที่ราก โดยเฉพาะปลายราก และใน xylem sap ของราก พืชจะลำเลียงไซโตไคนินขึ้นไปด้านบนผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จากการทดสอบโดยตัดใบจากพืชหลายชนิดไปเพาะในกระบอกทรายเพื่อให้ใบเกิดรากฝอยออกมาที่ตรงส่วนของฐานใบ หากใบไม่เกิดรากหรือตัดรากทิ้งหลังจากงอกออกมาใบก็จะเกิดการแก่ชราอย่างรวดเร็ว การชะลอการแก่ชราของใบนั้นถูกกำหนดโดยไซโตไคนิน ซึ่งมีการสังเคราะห์ที่ราก และเคลื่อนย้ายไปยังใบโดยผ่านทางเนื้อเยื่อท่อลำเลียง (Hopkins and Huner, 2004) นอกจากนี้ในเมล็ดที่ยังไม่แก่และผลที่กำลังพัฒนาจะมีปริมาณไซโตไคนินสูง ซึ่งได้มีการศึกษาในเอ็นโดสเปิร์มของข้าวโพดและผลพลัมที่กำลังเจริญ พบว่าเมล็ดและผลสามารถสังเคราะห์ไซโตไคนินได้ แต่ในขณะที่ผลและเมล็ดมีการพัฒนา และเจริญเติบโตที่รวดเร็ว จะมีความต้องการเมตาบอลิซึมสูง จึงน่าจะมีการใช้ไซโตไคนินสูง จึงต้องใช้ไซโตไคนินที่ผลิตมาจากราก (Hopkins and Huner, 2004)

ส่วนการเคลื่อนที่ของไซโตไคนินพบว่าระบบรากเป็นส่วนสำคัญในการส่งไซโตไคนินไปยังใบ และช่วยป้องกันการเสื่อมสลายของใบก่อนระยะอันสมควรถือเป็นหลักฐานที่สำคัญที่ชี้ให้เห็นว่า ไซโตไคนินมีการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ยอด ยิ่งไปกว่านั้นยังพบไซโตไคนินในท่อลำเลียงน้ำ ซึ่งมาจากระบบรากด้วย ในทางตรงกันข้ามไซโตไคนินซึ่งพบที่ผลซึ่งกำลังเจริญเติบโตไม่เคลื่อนที่ไปส่วนอื่นเลย ในทำนองเดียวกันจากการศึกษาการใช้ไซโตไคนินจากภายนอก เช่นหากให้ไคนิดิน พบว่า

การเคลื่อนย้ายจะเกิดซ้ำหรือไม่เกิด แม้ว่าสารอื่นๆ จะเคลื่อนย้ายออกจากจุดนี้ก็ตาม (Neuman *et al.*, 1990) มีหลักฐานจำนวนมากกล่าวว่าไซโตไคนินอาจจะเคลื่อนย้ายในรูปที่รวมกับสารอื่นๆ เช่น น้ำตาล (ribosides หรือ glucosides) ซึ่งไซโตไคนินในรูปที่รวมกับน้ำตาลนั้นพบเสมอในท่อน้ำท่ออาหาร (Hopkins and Huner, 2004)

จากหลักฐานที่ได้กล่าวถึงเบื้องต้นจึงเชื่อว่าไซโตไคนินน่าจะมียุทธศาสตร์สำคัญในการพัฒนาส่วนต่างๆ ทางด้านสรีรวิทยาเช่นในระยะช่วงของการออกดอก ซึ่งหลักฐานเกี่ยวกับหน้าที่ของไซโตไคนินเริ่มได้มาจากการวัดโดยวิธี bioassay พบว่ามีไซโตไคนินมากในตาของลิ้นจี่ และในท่อน้ำเลี้ยงน้ำ (Menzel and Waite, 2005; Liang *et al.*, 1983) ในขณะที่ตากำลังพักตัวจะมีการสะสม zeatin และ zeatin riboside จากการศึกษพบว่าไซโตไคนินจะมีปริมาณต่ำในระยะที่พืชมีการแตกใบอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับระยะออกดอก (Hegele *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 1997) แต่ในระยะการพัฒนาทางด้านการสืบพันธุ์ สารในกลุ่มไซโตไคนินมีผลในการกระตุ้นการสร้างตาออก (Bangerth and Gruber, 2000) ไซโตไคนินสามารถชักนำการเกิดตาออก โดยทดแทนวันยาวให้กับพืช ในขณะที่อยู่ในช่วงวันสั้น โดยประสิทธิภาพของ 6-benzylaminopurine > zeatin > kinetin > 6-(3-methylbut-2-enylamino) purine > SD 8333 ซึ่งปริมาณที่ทำให้มีการออกดอกมากที่สุดคือการใช้ในปริมาณ 0.01-0.1 ppm. (Zeevaart, 1987) จากรายงานของ Chen (1997) พบว่าไซโตไคนินในยอดลำไยมีปริมาณมากในช่วง flower bud initiation (มกราคม) ในลำไยที่ออกดอกในฤดู แต่ไม่ได้ระบุที่มาของแหล่งของไซโตไคนิน ซึ่งได้ตั้งสมมุติฐานว่าอาจจะมาจากรากแล้วเปลี่ยนแปลงที่ใบแล้วจึงเคลื่อนที่ไปสู่ยอด หรือปริมาณไซโตไคนินนั้นได้มาจากการไฮโดรไลต์จากโมเลกุลของไซโตไคนินที่จับกับโมเลกุลอื่น (Conjugated form) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่แอกทีฟ (inactive molecule) โดยเฉพาะในรูปของ O-glucoside O' Hare (2002) พบว่าระดับ zeatin riboside จะสูงในช่วงที่ยอดลิ้นจี่มีการพักตัว อาจจะเป็นไปได้ว่าการเจริญของรากช่วยสนับสนุนให้ทำลายการพักตัวผ่านการสังเคราะห์ไซโตไคนิน Chen (1990) เช่นเดียวกับการทดลองของ Chen *et al.*, (1997) ได้ทำการศึกษาระดับไซโตไคนินในยอดลำไยพบว่าปริมาณไซโตไคนินทั้ง ซีเอติน (Z), ซีเอตินไรโบไซด์ (ZR), ไอโซเพนทีนอะซิติก (iP) และ ไอโซเพนทีนอะซิติกอินซิน (iPA) เพิ่มขึ้นในช่วงที่ลำไยเริ่มมีการสร้างตาออก ซึ่งมากกว่าในช่วงที่มีการแตกใบอ่อนและระยะที่ตาพักตัว โดยเฉพาะปริมาณ ซีเอติน และ ซีเอตินไรโบไซด์ (Bernier *et al.*, 1993) ในขณะที่ Sringarm (2008) พบว่าไซโตไคนินเกี่ยวข้องกับกระบวนการชักนำการเกิดตาออกในต้นลำไย หลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำและสารโพแทสเซียมคลอไรด์โดยจะส่งผลกระทบต่อปริมาณฮอร์โมนและการเคลื่อนย้ายฮอร์โมนออกจากใบ กล่าวคืออุณหภูมิต่ำ (ไม่เกี่ยวข้องกับสารโพแทสเซียมคลอไรด์) จะเพิ่มการส่งออก (export) ของ iP/iPA ร่วมกับฮอร์โมนไอเอเอ (indole acetic acid; IAA) ส่วนอัตราการส่งออกของ Z/ZR และ gibberellins (GAs) จะค่อนข้างต่ำกว่า (ความสามารถในการตรวจวัด <10 ng.) นอกจากนี้ยังไม่พบ

ความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณของ IAA และ iP/iPA ในใบและอัตราการส่งออกมาจากใบลำไย หลังจากที่ได้รับอนุหนุมิต่ำและสาร  $KClO_3$  นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่าการที่พบปริมาณ Z/ZR น้อยกว่า iP/iPA ใน exudate ของใบอาจเนื่องมาจากไซโตไคนินชนิด iP/iPA จะถูกส่งออกมาจากใบ โดยผ่านทางอาหารไปยังส่วนของปลายยอด (shoot apical) และเนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง (lateral meristem)

Chen (1987) พบว่าปริมาณไซโตไคนินในท่อลำเลียงน้ำของมะม่วงสูง ในระยะที่ตาดอก เริ่มมีการพัฒนา ไปจนถึงสูงสุดในระยะที่มีการบานของดอกทั้งหมด (full bloom) ณัฐวดี (2545) พบ ปริมาณสารคล้ายไซโตไคนินมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงก่อนการออกดอก โดยยอดลำไยในกลุ่มที่ได้รับสาร โฟแทสเซียมคลอเรตมีปริมาณสารคล้ายไซโตไคนินสูงกว่ากลุ่มควบคุมในทุกสัปดาห์ที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ ดร.ณัฐ (2539) พบว่าปริมาณสารคล้ายไซโตไคนินเพิ่มขึ้นในช่วงก่อนการออกดอกและแตกใบอ่อนมีปริมาณที่ต่ำในสัปดาห์ที่ 9 ก่อนการออกดอกและแตกใบอ่อน และปริมาณเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 7 และจะคงที่ไปถึงสัปดาห์ที่ 5 ของการออกดอกของต้นลิ้นจี่ Hegele *et al.* (2004) พบว่าปริมาณ ไซโตไคนินในยอดลำไยเพิ่มขึ้นหลังการราดสารโฟแทสเซียมคลอเรต ปริมาณของไซโตไคนินที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นตัวบ่งชี้หรือสัญญาณ (Signal) ถึงการออกดอกของลำไย แต่ไซโตไคนินที่เพิ่มขึ้นในยอดมาจากแหล่งใด เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะต้องทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ทราบต่อไป

จากสมมุติฐานที่เชื่อว่าไซโตไคนินมีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกดอกทำให้นักวิจัยหลายท่านได้นำเอาสารสังเคราะห์ไซโตไคนินมาทดสอบกับพืชชนิดต่างๆ ดังเช่น Chen and Ku (1988) ได้พ่นไคนดินทางใบที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเอทธิฟอน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้กับต้นลิ้นจี่พันธุ์ Hrak Yip ที่มีอายุ 5 เดือน พบว่าสามารถกระตุ้นการแตกตาดอกก่อนต้นที่ไม่ได้รับสารหนึ่งเดือน ส่วนต้นควบคุมไม่มีการออกดอก Chen (1991) พบว่าเมื่อพ่นไคนดิน 100 ไมโครลิตร ในกรดซัลฟิวริก 1 โมล 5 ไมโครลิตร นำไปหยดใส่บนตาของลิ้นจี่นาน 1 สัปดาห์ ช่วง 6 สัปดาห์ก่อนการออกดอก พบว่าตาจะพัฒนาเป็นกิ่งดอก และแตกตาเร็วกว่าต้นควบคุม 1 สัปดาห์ และเพิ่มการเกิดกิ่งดอกมากกว่าต้นควบคุม Das *et al.* (1999) ได้ศึกษายอดข้างของต้นลิ้นจี่ที่ได้รับ BA ซึ่งทำการทดลองระหว่างช่วงที่มีสภาพอากาศเย็น พบว่าต้นที่ได้รับ BA มีการแตกตาและเกิดช่อดอกมากกว่าต้นควบคุม ในขณะที่ Nunez-Elisea *et al.* (1990) ได้รายงานผลที่สอดคล้องกันที่ได้ทำการทดลองในมะม่วง เมื่อให้ไซโตไคนินสังเคราะห์คือ thidiazuron ระหว่างที่มีสภาพอากาศเย็น และมีสภาพอากาศอบอุ่น พบว่ามีการแตกกิ่งดอกจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดที่ว่าไซโตไคนินเป็นฮอร์โมนที่มีผลต่อจุดกำเนิดช่อ แต่ไม่ชักนำให้ออกดอก

### 3. เอทิลีน (Ethylene)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีบทบาทต่อการออกดอกของพืชโดยพบว่าในช่วงที่พืชสร้างดอกจะมีการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการให้เอทิลีนหรือสารปลดปล่อยเอทิลีน เช่น เอทิลฟอน จะส่งเสริมให้พืชเข้าสู่ระยะชราภาพ และกระตุ้นการสร้างดอกในพืชหลายชนิดได้แก่ การใช้เอทิลฟอนกับมะม่วง สับปะรด เงาะ ลิ้นจี่ ลำไย และแอปเปิล ทำให้ชักนำให้เกิดตาดอกในกิ่งที่ไม่สร้างดอก และกิ่งที่สร้างดอกจะติดผลได้ดี (สมบุญ, 2548) จากการรายงานของ สิริเพ็ญ (2544) พบว่าในยอดลิ้นจี่พันธุ์สงขลวย และมะปรางพันธุ์ทูลเกล้ามีความเข้มข้นของเอทิลีนในช่วงว่างระหว่างเซลล์ลดลง ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-6 ก่อนการแตกใบอ่อน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่มีการแตกใบอ่อน นอกจากนั้น Olesen *et al.* (1999) ใช้เอทิลฟอนสำหรับการปลิดใบอ่อนจากกิ่งดอกในช่วงปลายฤดูใบไม้ร่วงและเมื่อมีอากาศอบอุ่นสำหรับการออกดอก หลังจากนั้นจะไม่มีการเกิดยอดก่อนฤดูใบไม้ผลิ เมื่ออากาศอบอุ่นเพียงพอจึงมีการออกดอก เช่นเดียวกับ Menzel and Waite (2005) พบว่าการใช้เอทิลฟอนปลิดใบของยอดในฤดูใบไม้ร่วงจะชักนำให้ยอดข้างแตกขึ้นมาหลังจากการให้เอทิลฟอน 1 สัปดาห์ ซึ่งถ้าสภาพอากาศเย็นพอการใช้เอทิลฟอน จะทำให้ยอดที่แตกออกมามากกลายเป็นช่อดอก

#### การเปลี่ยนแปลงเข้าสู่การออกดอกของพืชปีเดียว (annual plant)

การออกดอกของพืชมีหลายปัจจัยและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต จิบเบอเรลลิน ไซโทไคนิน เอทิลีน การใช้เทคนิคทางด้านชีวโมเลกุลเพื่อการศึกษาการออกดอกของ *Arabidopsis* ซึ่งเป็นพืชวันยาวทำให้นักวิทยาศาสตร์แบ่งกลไกการควบคุมการออกดอกเป็น 4 เส้นทาง (ภาพที่ 6) ได้แก่

1. Photoperiodic pathway มีสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณแสง คือฟายโตโครมรับแสงสีแดงและฟารเรด และคลิบโตโครมรับแสงสีน้ำเงิน
  2. Autonomous/vernalization pathway การออกดอกเกิดขึ้นจากการตอบสนองต่อสัญญาณภายในต้นพืชเอง เช่นการสร้างใบอย่างน้อยจำนวนหนึ่ง หรือจากการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ
  3. Carbohydrate pathway เป็นเส้นทางที่มีพื้นฐานของระดับเมตาบอไลซึมและความสมบูรณ์ของต้นพืช
  4. Gibberellin pathway มีความสำคัญต่อการชักนำให้ออกดอกเร็วกว่าปกติและการออกดอกภายใต้สภาพวันสั้นที่ปกติพืชวันยาวจะไม่สามารถออกดอก
- ทั้ง 4 เส้นทางเป็นการกำหนดบทบาทโดยรวมในการเพิ่มการแสดงออกของยีนที่ทำหน้าที่กำหนด identity ของเนื้อเยื่อเจริญที่จะพัฒนาเป็นดอก

ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบจำลองที่ใช้อธิบายกลไกการควบคุมการออกดอกของ *Arabidopsis* ภายใต้อิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ (Mouradov *et al.*, 2002)

### สารกระตุ้นการออกดอกเคลื่อนย้ายในท่ออาหาร

พูนพิภพ (2549) ได้กล่าวว่าเมื่อใบได้รับสัญญาณกระตุ้นจากความยาวช่วงแสงแล้วจะสร้างสารกระตุ้นการออกดอก (floral stimulus) ที่พืชลำเลียงส่งไปยังตาขอดผ่านเส้นทางเคลื่อนย้ายในโฟลเอ็มด้วยความร้อนจึงยับยั้งการเคลื่อนย้ายของสารกระตุ้นการออกดอกได้

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาความเร็วของการลำเลียงสารกระตุ้นการออกดอกนี้โดยการตัดใบที่ได้รับสัญญาณกระตุ้นทิ้งขณะเวลาหลังการกระตุ้นที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบระยะเวลาที่สัญญาณใช้ในการเคลื่อนย้ายไปยังตาขอดที่อยู่ห่างออกไปในระยะแตกต่างกัน ผลการทดลองทำให้ทราบว่าสารกระตุ้นการออกดอกเคลื่อนย้ายในท่อลำเลียงอาหารด้วยความเร็วใกล้เคียงกันหรือน้อยกว่าน้ำตาลในท่อลำเลียงอาหารเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น ใบของพืชวันสั้น *Chenopodium* ลำเลียงสารกระตุ้นการออกดอกให้ออกไปจากใบเสร็จสิ้นภายในระยะเวลาประมาณ 22.5 ชั่วโมงนับจากเริ่มต้นของกลางคืน และใบของพืชวันยาว *Sinapsis* ลำเลียงสารกระตุ้นการออกดอกให้ออกไปจากใบเสร็จสิ้นในเวลาเพียง 16 ชั่วโมงนับจากเริ่มต้นของช่วงเวลากลางคืน

การที่พืชลำเลียงสารกระตุ้นผ่านทางโฟลเอ็มทำให้กระบวนการลำเลียงนี้ขึ้นกับหลักการความสัมพันธ์ระหว่างของ source - sink ด้วย ใบที่อยู่ใกล้กับตาขอดจึงมีโอกาสมากกว่าที่จะกระตุ้นให้ตาขอดเปลี่ยนเป็นตาดอกมากกว่าใบที่อยู่บริเวณโคนต้น ใบที่ไม่ได้รับการชักนำที่อยู่ระหว่างใบที่สร้างสารกระตุ้นการออกดอกกับตาขอดจะแย่งส่งน้ำตาลให้กับตาขอดและอาจจะยับยั้งการเคลื่อนย้ายของสารกระตุ้นการออกดอกจากใบที่อยู่ห่างออกไป ซึ่งเป็นเหตุผลประการหนึ่งที่ใบบาง



กรณีใบต้องมีการสังเคราะห์ด้วยแสงบ้างจึงจะมีแรงผลักดันให้มีการเคลื่อนย้ายสารกระตุ้นการออกดอกออกไปยังตายอด

ผลผลิตของพืชเป็นผลสืบเนื่องจากการที่พืชได้ผ่านกระบวนการออกดอกและติดผล ซึ่งมีปัจจัยสภาพแวดล้อมเกี่ยวข้องที่สำคัญคือช่วงแสง (day length) และอุณหภูมิ ปรากฏการณ์ที่ช่วงแสง อุณหภูมิแตกต่างกันไปตามฤดูกาล ขึ้นอยู่กับละติจูดที่แตกต่างกันออกไปตั้งแต่เส้นนิเคเวเตอร์ถึงขั้วโลก

### สัญญาณทางชีวเคมีที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมการออกดอกของพืช

การทาบกิ่งช่วยในการศึกษาระดับการออกดอกที่เคลื่อนย้ายในต้นพืชโดยสารกระตุ้นการออกดอกมีคุณสมบัติเป็นฮอร์โมนพืชได้ เนื่องจากใบสร้างขึ้นในปริมาณน้อยและเคลื่อนย้ายไปกระตุ้นให้ตายอดพัฒนาเป็นตาดอก ในช่วงปี ค.ศ. 1930s Mikhail Chailakhyan นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียเสนอว่าพืชมีสารกระตุ้นการออกดอกชนิดหนึ่งและตั้งชื่อว่า “florigen” ซึ่งหลักฐานสนับสนุน florigen ส่วนใหญ่มาจากการนำใบจากต้นที่ได้รับการกระตุ้นด้วยความยาวช่วงแสงที่เหมาะสมมาทาบ (grafting) จะทำให้ต้นที่ยังไม่เคยได้รับการกระตุ้นออกดอกได้ (พูนพิภพ, 2549) นอกจากนี้ยังพบว่าสารกระตุ้นการออกดอกของพืชวันสั้นและพืชวันยาวน่าจะเป็นสารเดียวกันเพราะการนำใบที่ผ่านการกระตุ้นจากต้นยาสูบที่ได้รับสภาพวันสั้นไปทาบจะทำให้ต้นยาสูบที่ได้รับสภาพวันยาวที่ยังไม่ผ่านสารกระตุ้น ทำให้ต้นยาสูบนี้ออกดอกได้ (Aukerman *et al.*, 1998) (ภาพที่ 6)

พูนพิภพ (2549) กล่าวว่าปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์พยายามสกัดและแยกสารต่างๆ จากการทดลองเพื่อค้นหา florigen แต่ความพยายามที่ผ่านมายังไม่ประสบความสำเร็จ โดยที่สกัดสารจากใบที่ผ่านการกระตุ้นและนำไปทดสอบความสามารถในการกระตุ้นให้ต้นอื่นออกดอก ในบางกรณีนักวิทยาศาสตร์พยายามสกัดและแยกสารจากของเหลวในโพลีเอม ในปัจจุบันจึงได้ใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าด้านชีวโมเลกุลโดยใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามค้นหา florigen

จากการศึกษาด้าน *Arabidopsis* ที่ผ่านมา Huang *et al.* (2005) พบว่าการชักนำให้มีการแสดงออกของยีน *FLOWERING LOCUS T (FT)* ที่ใช้เพียงใบเดียวจะเพียงพอให้กระตุ้นการออกดอกได้ โดยพบ messenger RNA ของยีนเคลื่อนย้ายไปยังส่วนปลายยอดและชักนำให้มีการแสดงออกของยีนอื่นๆตามมา ซึ่งบ่งชี้ว่า *FT* mRNA เป็นองค์ประกอบสำคัญในสัญญาณ florigen สร้างจากใบที่ได้รับการชักนำด้วยสภาพที่เหมาะสมเคลื่อนไปยังส่วนปลายยอดเพื่อกระตุ้นการออกดอก โดยอาจเป็นไปได้ว่าสารอื่นๆที่มีบทบาทในสัญญาณ florigen ได้ เช่น โปรตีนที่สร้างจาก *FT* mRNA เป็นต้น



ภาพที่ 3 การทดลองใช้เทคนิคการเปลี่ยนยอดเพื่อสาธิตการส่งสัญญาณกระตุ้นให้ออกดอกใน  
*Bryophyllum diagremontianum* (Aukerman *et al.*, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved