สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช
(PLANT GROWTH REGULATORS)

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulators; PGRs) หมายถึง สารเคมีใดๆ ที่พืชผลิตขึ้นเอง และไม่ได้ผลิตโดยพืช ซึ่งมีผลในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ทั้งในทางส่งเสริมและยับยั้งการเจริญเติบโต และสามารถทำงานได้ที่ความเข้มข้นต่ำ แต่จะต้องไม่ใช่สารอาหารพืช

ฮอร์โมนพืช (plant hormones; phytomones) หมายถึง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเฉพาะที่พืชผลิตขึ้นเองเท่านั้น

ฮอร์โมนพืช แบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ 5 กลุ่ม คือ

1. ออกซิน (auxins)
2. ไซโตไคนิน (cytokinins)
3. จิบเบอเรลลิน (gibberellins)
4. เอทธิลีน (ethylene)
5. สารยับยั้งการเจริญเติบโต (inhibitors)

นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีก ที่จัดเป็นสารที่มีศักยภาพที่จะจัดขึ้นเป็นกลุ่มฮอร์โมนพืชชนิดใหม่อีกในอนาคต เช่น บลาสซิโนสเตรยรอยด์ (brassinosteroid) ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากละอองเกสรตัวผู้ ปัจจุบันใช้ในการเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด

1. ออกซิน (Auxins)

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulating chemicals : PGRC) **ที่จัดอยู่ในกลุ่มออกซิน มีอยู่หลายชนิดและเป็นที่รู้จักกันดีสำหรับเกษตรกรในประเทศไทย สารออกซินชนิดแรกที่ค้นพบคือ** IAA (indol-3-acetic acid) **ซึ่งเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเอง โดยมีคุณสมบัติเป็นสารเร่งการเจริญเติบโต มีผลกระตุ้นการขยายขนาดของเซล การยืดตัวของเซล และยังมีผลกระตุ้นการเกิดราก รวมถึงมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนต่าง ๆ ของพืช ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้หลายวิธีกับพืชทั้งต้น** (intact plant) **รวมทั้งวิธีที่ตัดอวัยวะเฉพาะส่วนมาทดสอบ** (excised part) **สรุปได้ว่ากระบวนการต่าง ๆ หลายอย่างที่เกิดขึ้นในพืชนั้น ออกซินมีส่วนในการควบคุมกระบวนการนั้น ๆ ด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้จึงทำให้มีการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายออกซินเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร สารสังเคราะห์เหล่านี้มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่เพียงไม่กี่ชนิด ได้แก่** NAA (1-naphthylacetic acid) IBA (4-(indol-3-yl)butyric acid) 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) **และ** 4-CPA (4-chlorophenoxyacetic acid) (**พันทวี**, 2532 ; **พีรเดช**, 2529)

การสังเคราะห์ออกซินในเนื้อเยื่อพืช (Biosynyhesis of Auxins)

กลไกในการสังเคราะห์สารออกซินที่เป็นไปได้มีสองทางโดยเริ่มจากการตัด amino group และ carboxyl group จาก side-chain ของ amino acid ชนิดหนึ่งคือ tryptophan

pathway ที่เกิดขึ้นในพืชส่วนใหญ่จะเริ่มจากการตัด amino group ให้กับ α-keto acid ตัวหนึ่ง โดยผ่านปฏิกิริยาที่เรียกว่า transaminayion กลายเป็น indolepyruvic acid จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยา decarboxylation กับ indolepyruvic acid กลายเป็น IAA (indole acetic acid) enzymes ที่จำเป็นสำหรับการเปลี่ยน tryptophan ไปเป็น IAA จะมีประสิทธิภาพ (active) มากที่สุดในเนื้อเยื่อที่มีอายุน้อย เช่น shoot meristems ใบที่กำลังเจริญเติบโต และในผล ในเนื้อเยื่อเหล่านี้ยังจะมีออกซิน ในปริมาณมากที่สุดอีกด้วย จึงทำให้สรุปว่าเป็นแหล่งสังเคราะห์ออกซินซึ่งจะอยู่บริเวณที่มีการเจริญเติบโตทั่วไปทั้งต้น ธาตุสังกะสีมีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์ทริบโตเฟนจึงมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ออกซินด้วย ดังนั้นเมื่อขาดธาตุสังกะสีก็ทำให้พืชสร้างออกซินได้น้อยด้วยออกซินมีผลในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของลำต้น ตา ใบ และรากในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน ออกซินในระดับความเข้มข้นสูงมาก ๆ จะยับยั้งการเจริญเติบโตทุกส่วนของพืช ออกซินในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจะกระตุ้นการเจริญของลำต้น แต่จะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของตาและใบ ซึ่งต้องการความเข้มข้นต่ำกว่า ในขณะที่รากต้องการออกซินในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นลำต้นจึงต้องการออกซินสูงกว่าตา และใบ ในขณะที่ตาและใบก็ต้องการออกซินสูงกว่าในราก ดังนั้นความเข้มข้นของออกซินที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะหนึ่งแต่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของอวัยวะหนึ่งได้ (นพดล, 2536)

ผลของออกซินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

1. ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลของเยื่อเจริญ (cambium) ทำให้พืชมีเนื้อไม้มากขึ้น เกิดการเจริญเติบโตด้านข้างเพิ่มขึ้น

2.ออกซินช่วยให้เซลล์ในส่วนต่าง ๆ ของพืชยืดยาวขึ้นโดยการกระตุ้นให้เซลล์สร้างผนังเซลล์มากขึ้น

3.ควบคุมการเจริญของตาข้าง (lateral bud) โดยตายอด (apical bud) ซึ่งเรียกว่า การข่มของตายอด (apical dominant) โดยตายอดสร้างออกซินขึ้นมาในปริมาณที่สูงแล้วลำเลียงลงสู่ด้านล่าง ความเข้มข้นระดับนี้จะยับยั้งการเจริญเติบโตของตาและใบด้านข้างไม่ให้เจริญเติบโต พืชจึงสูงขึ้นมากแต่ไม่เป็นพุ่ม แต่เมื่อเราตัดยอดออกความเข้มข้นของออกซินจะลดลง ทำให้ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของตาด้านข้างและใบได้ พืชจึงแตกตาด้านข้างได้ และทำให้ต้นพืชมีลักษณะเป็นพุ่ม

4.ออกซินในปริมาณที่พอเหมาะสามารถใช้การกระตุ้นการเกิดรากสำหรับการตอนและการปักชำกิ่งได้

5.ควบคุมการตอบสนองของพืชโดยการแบบมีแสงเป็นสิ่งเร้า (phototropism) หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นสิ่งเร้า (gravitropism)

6. ควบคุมการออกดอกของพืชปกติ โดยทั่วไปถ้าพ่นออกซินให้แก่พืชที่ใกล้จะออกดอก จะทำให้พืชนั้นออกดอกช้าลง แต่ในสับปะรด มะม่วง ลิ้นจี่ เมื่อให้ออกซินจะทำให้ออกดอกเร็วขึ้น และออกดอกพร้อม ๆ กัน อย่างไรก็ตามพีรเดช (2529) กล่าวว่าถึงแม้เกษตรกรหลายท่านเข้าใจว่าสารในกลุ่มออกซินนี้เร่งการเกิดดอกของพืชได้ แต่แท้จริงแล้วผลของออกซินในข้อนี้ยังค่อนข้างเลื่อนลอย เท่าที่มีงานทดลองสรุปได้แน่ชัดว่าออกซินเร่งการเกิดดอกได้เฉพาะในสับปะรดเท่านั้น การใช้ NAA หรือ IBA สามารถเร่งการเกิดดอกของสับปะรดได้ แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้ถ่านก๊าซ (calcium carbide) และ เอทธิฟอน (ethephon) แต่ก็เชื่อได้ว่าการเกิดดอกของสับปะรดไม่ได้เป็นผลของ NAA หรือ IBA โดยตรง แต่เป็นผลทางอ้อมที่สารดังกล่าวไปกระตุ้นให้ต้นสับปะรดสร้างเอทธิลีน (ethylene) ขึ้นมา และเอทธิลีนเป็นตัวกระตุ้นให้สับปะรดเกิดดอก สำหรับในประเทศไทยเคยมีการแนะนำให้ใช้ NAA ผสมกับโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) เพื่อฉีดเร่งดอกมะม่วง แต่ยังไม่มีข้อมูลใด ๆ ยืนยันว่าวิธีการดังกล่าวใช้ได้ผล

7. เปลี่ยนเพศดอก พืชหลายชนิดที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ต่างดอก หรือต่างต้นกัน เช่น ต้นเงาะ ซึ่งมี 2 ชนิด คือ ต้นตัวผู้ซึ่งมีแต่ดอกตัวผู้ ที่ไม่สามารถให้ผลผลิต จึงถูกตัดทิ้งเนื่องจากไม่สามารถให้ผลผลิตได้ และต้นตัวเมียซึ่งมีดอกตัวเมีย จากการที่ต้นตัวผู้ถูกตัดทิ้ง ทำให้มีเกสรตัวผู้ไม่เพียงพอในการผสมกับดอกตัวเมีย ผลผลิตจึงลดลงเพราะดอกตัวเมียไม่สามารถพัฒนาเป็นผลได้ การพ่นออกซิน ความเข้มข้น 100 มก/ล แก่ช่อดอกเงาะต้นตัวเมีย ในระยะดอกตูม สามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนเพศดอกจากดอกตัวตัวเมียเป็นดอกตัวผู้ได้ (พีรเดช, 2529)

8. เพิ่มขนาดของผล และป้องกันผลร่วง มีรายงานว่าออกซินอาจช่วยขยายขนาดของผลไม้บางชนิดได้ เช่น การใช้ 4-CPA หรือ NAA กับสับปะรด ผลไม้บางชนิดสามารถใช้ออกซินเพื่อป้องกันผลร่วงก่อนการเก็บเกี่ยวได้ เช่น มะม่วง ส้ม องุ่น และลางสาด สารที่นิยมใช้คือ NAA และ 2,4-D (พีรเดช, 2529)

9. ควบคุมการเจริญเติบโตของผล เช่น แตงโม องุ่น มะเขือเทศ บวบ มะเดื่อ สตรอเบอรี่ เมื่อพ่นด้วยในปริมาณที่พอเหมาะก็จะทำให้รังไข่เจริญไปเป็นผลได้โดยไม่มีเมล็ด ซึ่งเรียกผลไม้ประเภทนี้ว่า ผลไม่มีเมล็ด หรือ ผลกระเทย (parthenocarpic fruit) พีรเดช (2529) กล่าวว่ามีรายงานว่าออกซินอาจช่วยขยายขนาดของผลไม้บางชนิดได้ เช่น การใช้ 4-CPA หรือ NAA กับสับปะรด ผลไม้บางชนิดสามารถใช้ออกซินเพื่อป้องกันผลร่วงก่อนการเก็บเกี่ยวได้ เช่น มะม่วง ส้ม องุ่น และลางสาด สารที่นิยมใช้คือ NAA และ 2,4-D

10.ควบคุมการหลุดร่วงของใบ ดอก และผล เมื่ออวัยวะดังกล่าวแก่ตัวลง การสร้างออกซิเจนจะน้อยลงกว่าส่วนอ่อนและลำต้นจึงทำให้ร่วงได้ ดังนั้นการพ่นออกซินให้ในปริมาณที่พอเหมาะส่วนต่าง ๆ เหล่านั้นก็จะไม่หลุดร่วงง่าย

11. สารประกอบต่าง ๆ ที่สังเคราะห์ขึ้นมาและนิยมใช้แทนออกซินธรรมชาติได้แก่ กรดแนพทาลีนแอซิติก (naphthalene acetic acid, NAA) กรดอินโดลบิวทิริก (Indolebutyric acid, IBA)

กรดอินโดลโพรพิออกนิก (Indolepropionic acid) กรดแนพทอซีแอซิติก (Naphthoxyacetic acid, NOA) สารเหล่านี้มีผลเช่นเดียวกับออกซินในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังใช้ออกซินสังเคราะห์สารบางชนิดในการปราบพืชประเภทใบกว้าง หรือพืชใบเลี้ยงคู่คือ กรด2,4-ไดคลอโรฟีนอแอซีติก (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid 2,4-D) และใช้กรด 2,2 Dichlopropionic acid) ใช้ในการปราบวัชพืชใบแคบคือ พวกหญ้าและใบเลี้ยงเดี่ยวต่าง ๆ สำหรับสารที่ทำลายฤทธิ์หรือผลของออกซินหรือที่เรียกว่า แอนติออกซิน (antiauxin) ได้แก่ กรด 2,6-ไดคลอโรฟีนอแอซีติก (2,6-Dichlorophenoxyacetic acid 2,6-D) กรดทรานส์ซินเนมิก (transcinamic acid) เมื่อใช้ร่วมกับออกซินแล้วจะไม่มีผลของออกซินให้เห็น

12. ออกซินมีคุณสมบัติเป็นสารกำจัดวัชพืช (herbicides) ออกซินทุกชนิดถ้าใช้ความเข้มข้นสูงจะสามารถฆ่าพืชได้ ดังนั้นจึงมีการนำสารออกซินมาใช้เป็นยากำจัดวัชพืชอย่างกว้างขวาง ออกซินที่ใช้สารกำจัดวัชพืช อย่างกว้างขวางได้แก่ 2,4-D, 2,4,5-T , MCPA สารที่นิยมใช้คือ 2,4-D รองลงมาคือ 4-CPA สารทั้งสองชนิดนี้มีฤทธิ์ของออกซินสูงมากจึงใช้ฆ่าวัชพืชได้ แม้จะใช้ความเข้มข้นไม่สูงมากนักก็ตาม อนุพันธ์ของ picolinic acid เช่น picloram ชื่อการค้า Tordon มีคุณสมบัติที่ทำให้เป็นที่นิยมกว้างขวางเนื่องจากความเป็นพิษต่อพืช มีราคาถูกและการเลือกทำลายพืชใบเลี้ยงคู่มากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว 2,4,5-T ถูกห้ามใช้ในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากมีสารพิษที่ร้ายแรงคือ dioxin ปนเปื้อนอยู่

สารกำจัดวัชพืชเหล่านี้อาจอยู่ในรูปเกลือของด่างอ่อน เช่น ammonia (amines), กรด emulsifiable, ester และผสมกับน้ำมันหรือ detergent เพื่อให้มีการกระจายตัวและจับใบสามารถดูดซึมเข้าสู่ใบพืชได้ดีขึ้นและเมื่อดูดซึมเข้าไปแล้วจะถูกลำเลียงส่วนใหญ่ทาง phloem ไปกับสารที่เกิดจากการสังเคราะห์แสง ดังนั้นเวลาฉีดพ่นให้ได้ผลดีที่สุด คือตอนเช้ามืดของวันที่มีแดด กลไกที่แท้จริงของสารเหล่านี้ยังไม่กระจ่างเพียงแต่สันนิษฐานว่าออกซินเหล่านี้เข้าไปรบกวนการสร้าง DNA และการแปล RNA ดังนั้นจึงทำให้การสร้างเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตเหล่านี้ได้รับการสร้างอย่างผิดปกติ (พีรเดช, 2529; นพดล, 2536)

2. **ไซโตไคนิน** (Cytokinins)

ไซโตไคนินในพืชจะมีน้ำตาลเพนโทส (คาร์บอน 5 อะตอม) เกาะติดอยู่หรือมีฟอสเฟสอยู่ด้วยหมายความว่า ไซโตไคนินเกิดขึ้นแบบไรโบไซด์ (riboside) หรือไรโบไทด์ (ribotide) ตัวอย่างเช่น อนุพันธ์ของซีอะทินที่พบว่าในผลอ่อนข้าวไรโบไทด์ชนิดหนึ่ง

นอกเหนือจากไซโตไคนินที่พบในพืช มีสารที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางเคมีและมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับไซโตไคนินเรียก ไซโตไคนินสังเคราะห์ ได้แก่ เบนซิลแอดินีน (benzyladenine) หรือ BA และเตตระไฮโดรไพรานิล เบนซิลแอดินีน (tetrahydropyranyl) หรือ PBA เป็นต้น ใน t-RNA ของสัตว์และจุลินทรีย์หลายชนิดก็สามารถสร้างสารกระตุ้นการแบ่งเซลล์นี้ได้

แหล่งของไซโตไคนินในพืชจะพบมากในบริเวณปลายราก และสามารถเคลื่อนย้ายไปในส่วนของใบ ลำต้น และส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยผ่านทางท่อน้ำ(สมบุญ, 2544)

ไซโตไคนินในพืชจะถูกสังเคราะห์ขึ้นในรากแล้วมีการเคลื่อนย้ายไปยังใบ และลำต้นโดยผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ (xylem)(นิรันดร์ ,2536)

ผลของไซโตไคนินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ หน้าที่หลักของไซโตไคนิน คือช่วยให้ไซโตพลาสซึมของเซลล์ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ลำต้น และราก เกิดการแบ่งตัว (นิตย์,2541)

2.เร่งการขยายตัวของเซลล์ จากการศึกษาการเลี้ยงเนื้อเยื่อของไส้ (pith)ยาวสูบ พบว่า ไซโตไคนินสามารถขยายขนาดของแวคิวโอลในเซลล์ ทำให้เซลล์ขยายใหญ่ขึ้นได้ และพบว่าในเซลล์ที่เจริญเต็มที่ของแผ่นใบและใบเลี้ยงซึ่งปกติจะไม่มีการขยายตัว ไซโตไคนินสามารถส่งเสริมการขยายตัวของเซลล์ในส่วนที่ตัดจากแผ่นใบและใบเลี้ยงได้ (สมบุญ,2544)

3.ส่งเสริมการสร้างและการเจริญของตา การเพิ่มไซโตไคนินให้กับตาข้าง(lateral buds) ทำให้แตกออกมาเป็นใบได้ ทั้งนี้เพราะตาข้างจะดึงอาหารมาจากส่วนอื่น(ดนัย,2539) ช่วยในการงอกของเมล็ด ไซโตไคนินเป็นสารช่วยเร่งการแบ่งเซลล์ จึงมีผลทำให้เมล็ดงอกสามารถงอกได้เร็วขึ้น ในเมล็ดที่กำลังงอกจะพบไซโตไคนินในปริมาณสูง ไซโตไคนินยังสามารถกระตุ้นเมล็ดและตาข้างที่พักตัวให้เกิดการงอกได้

3.ส่งเสริมการสร้างโปรตีน ไซโตไคนินสามารถดึงสารและกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ เข้าใกล้ตัวและสามารถสร้าง RNA,DNA ซึ่งทั้งกรดอะมิโน RNAและDNA เป็นสารที่จำเป็นในการสร้างโปรตีนทำให้พืชทั้งต้นเจริญเติบโต

4.ชะลอกระบวนการเสื่อมสลายตัวของคลอโลฟิลล์ (นิตย์, 2541;นพดล, 2537) โดยเฉพาะ BAP (benzyladenine) สามารถชะลอการแก่ของพืช แต่สารนี้มีราคาสูงไม่นิยมใช้ในทางพาณิชย์ (สมบุญ, 2544)

5.ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ในพืชทั่วไปปากใบจะเปิดในที่มีแสงและปิดในที่มืด ไซโตไคนินมีผลทำให้ปากใบเปิดในที่มืดได้ (สมบุญ, 2544)

6.ส่งเสริมการพัฒนาของคลอโรพลาสต์และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ส่วนของพืชที่มีไซโตไคนินจะสามารถดึงเอาอาหารมาจากส่วนอื่นๆได้ และยังช่วยให้ใบที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองสามารถสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นได้อีก ทำให้ส่วนของพืชที่ได้รับสารไซโตไคนินมีอายุได้นาน (สมบุญ, 2544)

6.ชักนำการสร้างตาดอกและพัฒนาตาดอก พบว่าไซโตไคนินมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าออกซินและจิบเบอเรลลิน (Bernier *et al.,* 1985)

7.ไซโตไคนินเพิ่มขนาดเซลล์ในใบเลี้ยงและในใบของพืชใบเลี้ยงคู่ (นพดล, 2537)

จิบเบอเรลลิน (Gibberellins)

การค้นพบจิบเบอเรลลินเริ่มจากปี ค.ศ. 1890 โดยชาวนาญี่ปุ่นได้สังเกตต้นกล้าของข้าวที่มีลักษณะสูงผิดปกติจะอ่อนแอ มักไม่ออกดอกและตายก่อนที่จะเจริญเติบโตเต็มที่ เรียกอาการผิดปกตินี้ว่า “โรคบาคาเน” (bakanae) ต่อมาในปี ค.ศ. 1926 นักพฤษศาสตร์ชาวญี่ปุ่นได้ ค้นพบว่า โรคข้าวชนิดนี้เกิดจากเชื้อราชื่อ *Gibberella fujikuroi* เชื้อรานี้สร้างสารที่มีผลกระตุ้นการยืดยาวของลำต้น ต่อมาในปี ค.ศ.1935 นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นประสบผลสำเร็จในการสกัดสารดังกล่าวจากเชื้อรานี้ จึงให้ชื่อสารนี้ว่า จิบเบอเรลลิน และในปี ค.ศ. 1955 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้สกัดสารจากเชื้อราชนิดนี้เช่นกัน แล้วให้ชื่อสารที่สกัดได้นี้ว่า กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid) (สมบุญ, 2536)

จิบเบอเรลลิน เป็นชื่อที่ใช้เรียกทั่วๆ ไปของกลุ่มสารประเภทนี้ ซึ่งค้นพบแล้วไม่น้อยกว่า 80 ชนิด และตั้งชื่อเรียกเป็น gibberellin A_1(GA_1), GA_2, GA_3 เป็นต้น โดยที่กรดจิบเบอเรลลิก คือ GA_3 เป็นชนิดที่พบมากและได้รับความสนใจศึกษามากกว่าชนิดอื่นๆ ปัจจุบันพบจิบเบอเรลลินมากกว่า 80 ชนิด (ดนัย, 2537)

โดยทั่วๆ ไปทราบว่า ในพืชชั้นสูงนั้นมีแหล่งสังเคราะห์จิบเบอเรลลินอย่างน้อย 3 แหล่ง ได้แก่ ในผลหรือเมล็ดที่กำลังเจริญพัฒนา บริเวณปลายยอด และปลายราก แต่ GA มีผลต่อการเจริญเติบโตของรากโดยตรงน้อยมาก และยังยับยั้งการสร้าง adventitious root อีกด้วย

การลำเลียง GA เกิดขึ้นโดย การแพร่ผ่านทาง xylem และ phloem เป็นแบบไม่มีขั้ว ซึ่งโดยมากGA ในลำต้นส่วนมากลำเลียงมาจากรากผ่านทาง xylem

GA_3 เป็นสารที่รู้จักกันมากที่สุดในกลุ่มของ giberrellins และนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอย่างมาก สาร GA_3 อาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า gibberellic acid ถ้าเป็นสารบริสุทธิ์เป็นผลึกสีขาวละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายน้ำ

ผลของจิบเบอเรลลินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้เกิดการยืดตัวของเซลล์ พืชบางชนิดอาจจะไม่ตอบสนองต่อจิบเบอเรลลินที่ได้จากภายนอกซึ่งอาจเป็นเพราะว่าในพืชชนิดนั้นมีปริมาณจิบเบอเรลลินเพียงพอแล้ว

2. กระตุ้นการงอกของตาที่พักตัว และเมล็ดที่พักตัว
3. กระตุ้นการเกิดดอก (Flower initiation) โดย GA สามารถทดแทนความยาวของวัน ที่จำเป็นต่อการออกดอกในพืชบางชนิด และทดแทนความต้องการความหนาวเย็นในการกระตุ้นการออกดอก (vernalization) ในพืชบางชนิดอีกด้วย
4. ยับยั้งการออกดอกในพืช ในไม้ผลส่วนมากขณะที่เกิดการสร้างตาดอก ปริมาณ GA ที่ปลายยอดจะอยู่ในปริมาณต่ำ
5. กระตุ้นการลำเลียงอาหารและแร่ธาตุอาหารในเซลสะสมอาหารของเมล็ด
6. ช่วยทำให้พืชบางชนิดเกิดการพัฒนาของผลแบบ parthenocarpy (ไม่มีเมล็ด) เช่น มะเขือเทศ และ ส้ม
7. ช่วยให้องุ่นที่ไม่มีเมล็ดมีผลขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้องุ่นหลายพันธุ์มีขนาดใหญ่ขึ้น ช่อผลยืดยาว และผลในช่อโปร่งมากขึ้น
8. การแสดงออกของเพศดอก GA_3 เข้มข้น 50-500 สตล จะทำให้ช่อดอกของก่อ (chinese chestnut) มีจำนวนดอกตัวผู้น้อยลง และมีจำนวนดอกตัวเมียมากขึ้น แต่ในพืชตระกูลแตง เช่น แตงกวา ฟักทอง กลับ+ชักนำให้เกิดการสร้างดอกตัวผู้เพิ่มมากขึ้น
9. การชะลอการแก่ชรา (senescence) ในใบพืช

เอทธิลีน (Ethylene)

เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นกาซ เป็นสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นกาซ ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) มีสูตรทางเคมีคือ CH_2=CH_2 ติดไฟและเกิดการระเบิดได้ในช่วงความเข้มข้น 3.2 – 32% สามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆของพืชได้ง่าย ทำให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้างขวางต่อการพัฒนาของพืช โดยทั่วไปเอทธิลีนจะไปเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนของพืช พืชและจุลินทรีย์หลายชนิดมารถผลิตกาซเอทธิลีนได้ นอกจากนั้นมนุษย์ยังทำให้เกิดเอทธิลีนได้จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เช่น การใช้น้ำมันกับรถยนต์ เมื่อการสันดาปเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จะได้เอทธิลีนออกมาทางท่อไอเสียอีกด้วย

ปริมาณการผลิตเอทธิลีนในผักและผลไม้ในผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ นั้นแตกต่างกันออกไป สามารถจัดเป็นกลุ่มได้ 5 กลุ่มดังแสดงในตาราง 1

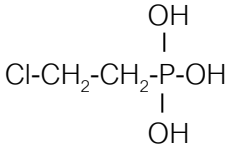
ตารางที่1 กลุ่มของผักและผลไม้ที่ผลิตเอทธิลีนในอัตราต่าง ๆ กัน

กลุ่ม	อัตราที่ 20 °C (C_2H_4/กก./ชม)	ชนิดพืช
ต่ำมาก	0.01-0.1	ส้มต่าง ๆ, องุ่น, สตรอเบอรี, เชอรี, ทับทิม, ดอกไม้, ผักรับประทานใบเมืองหนาว, ผัก, รับประทานราก, มันฝรั่ง
ต่ำ	0.1-1.0	แตงกวา, กระเจี๊ยบเขียว, พริกยักษ์, พลับ, สับปะรด, เงาะ, กระเทียม, ข้าวโพดฝักอ่อน, ถั่วฝักยาว, หน่อไม้ฝรั่ง, ผักกาดขาวปลี, มะเขือยาว, หอมหัวใหญ่, ผักบุ้งจีน, เห็ด, ผักคะน้า
ปานกลาง	1.0-10.0	กล้วยหอม, แตงเทศ, มะม่วง, มะเขือเทศ, ทุเรียน, มังคุด ,น้อยหน่า
สูง	10.0-100.0	แอปเปิล, อโวกาโด, แคนตาลูป, กีวี, มะละกอ, พลับ, สาลี่ฝรั่ง
สูงมาก	>100	เสาวรส, ละมุด

การสังเคราะห์เอทธิลีนในเซลล์พืชมีสารเริ่มต้นจากกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (methionine) และอาจมีการสังเคราะห์เอทธิลีนเพียงเล็กน้อย จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดลิโนเลอิค

เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชในรูปก๊าซมีโมเลกุลขนาดเล็ก ละลายน้ำได้ และละลายได้ดีในไขมัน สามารถเคลื่อนที่ในพืช โดยกระบวนการแพร่ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ ช่องว่างระหว่างเซลล์และเนื้อเยื่อพืชได้หรืออาจเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อพืชตายแล้วแบบเมสโฟล

นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ใน ค.ศ. 1964 ได้ผลิตสารที่ให้เอทธิลีนขึ้นมาชนิดหนึ่งโดยให้ชื่อว่าอีทาฟอน (Ethephon) และมีชื่อทางเคมีว่า 2-chloroethane phosphonic acid ซึ่งมีสูตรดังนี้



อีทาฟอนบริสุทธิ์เป็นของแข็งสีขาว ละลายได้ดีทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ ในสภาพเป็นกรดจัด (pH น้อยกว่า 3.8) ไม่มีผลต่อการสลายตัวของอีทาฟอน แต่ในสภาพเป็นด่างจะสลายตัวได้ง่าย และสามารถเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปยังใบอ่อนและยอด ดอก ผลได้

สำหรับผลของเอทธิลีนต่อเนื้อเยื่อต่างๆของพืช แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของเอทธิลีนต่อเนื้อเยื่อของพืชชนิดต่าง ๆ

ความเข้มข้นของเอทธิลีน (ส่วนต่อล้าน)	**ผลของเอทธิลีน**
> 0.002	การเสื่อมสภาพของกลีบดอก (Floral senescence)
0.01 – 0.1	ใบเหี่ยว (Epinasty)
0.1	ยับยั้งการเจริญเติบโตของราก
>0.1	การเสื่อมสภาพของผลไม้
10	เกิดการบวมพองของเยื่อหุ้มยอด(colleoptile)ของพืชตระกูลหญ้า
300	ยับยั้งการออกดอกของยอด

ผลของเอทธิลีนที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

1. ทำให้เกิดการยืดยาวแบบโค้งงอของลำต้นและราก (epinasty) ของใบโดยการส่งเสริมการยืดยาวของลำต้นและราก โดยเฉพาะในพืชใบเลี้ยงคู่ เมื่อการยืดยาวถูกยับยั้ง ลำต้นและรากจะมีความหนาขึ้นโดยมีการขยายขนาดของเซลล์ด้านข้าง ในลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่นั้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์จะเกิดขึ้น โดยจะมีการพอกพูนของ cellulose microfibrils ในทางด้านแนวตั้งของผนังเซลล์มากกว่าแนวนอน ในรากก็เกิดขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกันนี้

2. กระตุ้นการออกดอก ในมะม่วงและสับปรด และส่งเสริมการออกดอกของสับปะรดและในผลไม้อื่นๆ

3. ควบคุมการสุกของผลไม้ เอทธลีนจากภายนอกสามารถชักนำให้ผลไม้ประเภท ที่บ่มให้สุกได้ (climacteric fruit) ซึ่งสามารถสังเคราะห์เอทธิลีนขึ้นเองได้ในขณะที่มีการสุก โดยมีระบบการสังเคราะห์เป็นแบบ autocatalytic ethylene producing system ส่วนผลไม้ประเภทไม่สามารถบ่มให้สุกได้ (non-climacteric fruit) นั้นเอทธิลีนจากภายนอกไม่สามารถชักนำให้มีการสังเคราะห์เอทธิลีนขึ้นมาเอง เนื่องจากมีระบบการสังเคราะห์เอทธิลีนเป็นแบบ nonautocatalytic ethylene producing system จากการที่พบว่าเอทธิลีเป็นฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้จึงเรียกเอทธิลีน ว่า fruit ripening hormone เอทธิลีนความเข้มข้นต่ำเพียง 1 ppm สามารถทำให้ผลไม้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น และชักนำให้เกิดการ

4. ควบคุมการเกิดการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลก (geotropism) เอทธิลีนไปยับยั้งการเคลื่อนย้ายของออกซิน

5. ส่งเสริมการสูญเสียสีเขียว เอทธิลีนจะกระตุ้นให้เกิดการเสื่อสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในส้มสามารถใช้ในการทำให้ผลส้มมีสีเหลือง (degreening)

6. ส่งเสริมการร่วงของส่วนต่าง ๆ ทำให้ใบ ดอก ขั้ว หลุดออกง่าย

7. ทำให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เอทธิลีนไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายอย่าง เช่น pectinase และ cellulase

8. รสชาติ ในผลไม้เอทธิลีนช่วยกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล การลดลงของปริมาณกรด ทำให้รสของผลไม้ดีขึ้น แต่ในแครอท กะหล่ำปลีเอทธิลีนจะกระตุ้นให้มีการสร้างสารพวกฟีนอลทำให้เกิดรสขม

9. การงอก เอทธิลีนจะทำลายการพักตัวของหัวมันฝรั่ง ทำให้เกิดการงอกขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้ยอดที่งอกออกมาใหม่นั้นมีการยืดตัวได้น้อยกว่าปกติ

10. การเกิดอาการผิดปกติ ผักกาดหอมห่อมีอาการเป็นแผลสีน้ำตาลตามบริเวณก้านใบหรือเส้นใบที่มีสีขาวเมื่อสัมผัสกับเอทธิลีน

11. การชราภาพของดอกไม้ ทำให้ดอกไม้หลายชนิดกลีบดอกม้วนตัวเข้าด้านใน เหี่ยว สีซีดลง และหลุดร่วง ในคาร์เนชันเอทธิลีนทำให้ดอกไม่บานเรียกอาการนี้ว่า sleepiness

สารยับยั้งการเจริญเติบโต (Inhibitors)

สารยับยั้งการเจริญเติบโต (inhibitors) หมายถึงกลุ่มสารที่สามารถยับยั้งหรือชะลอขบวนการทางสรีรวิทยาหรือขบวนการทางชีวเคมีของพืช ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชหรือขบวนการอื่นๆ อีกหลายชนิดถูกยับยั้ง สารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างแตกต่างกันออกไป เช่น abscisic acid (ABA), ฟีนอล (phenol), ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และกรดซินนามิค (cinnamic acid) เป็นต้น

สารชะลอการเติบโต (growth retardants) ซึ่งหมายถึงกลุ่มสารที่สามารถชะลอการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ภายในต้นพืช จะมีผลทำให้พืชมีลำต้นสั้นกว่าปกติ แต่ไม่มีผลต่อส่วนอื่นๆ หรือต่อความแข็งแรงของพืช ในขณะเดียวกันจะทำให้ใบเขียวเข้มมากขึ้น และมีผลทางอ้อมต่อการออกดอกของพืช ดังนั้นพืชที่ได้รับสารชะลอการเติบโตจึงไม่มีอาการผิดปกติของต้นแต่ประการใด เพียงแต่มีขนาดเตี้ยลงและใบเขียวเข้มขึ้นเท่านั้น สารชะลอการเติบโตเท่าที่พบในปัจจุบันส่วนใหญ่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี ตัวอย่างเช่น A-rest และ Slow-Grow เป็นต้น

สารยับยั้งการเจริญเติบโตมีมากมายหลายชนิด ที่สำคัญเช่น salicylic acid, caffeic acid, ferulic acid, scopoletin, gallic acid, และ naringenin นอกจากสารเหล่านี้แล้วยังพบว่ากรดไขมัน และกรดอะมิโนบางชนิดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตพืชบางชนิดได้ แต่บทบาทของสารสองชนิดหลังนี้ไม่เด่นชัดเท่าที่ควรจึงได้รับความสนใจน้อยมาก

ในบรรดาสารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชทั้งหลายนั้น abscisic acid หรือ ABA นับว่าเป็นสารที่ได้รับความสนใจมาก ABA เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการที่ทำให้พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่สิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม โดยทำให้การพักตัวของตา (bud dormancy) หรือการพักตัวของเมล็ด (seed dormancy) เป็นต้น

ABA พบในพืชชั้นสูงทุกชนิด ปริมาณที่พบโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 0.01-1 ppm ซึ่งนับว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับฮอร์โมนชนิดอื่นๆ

การเคลื่อนที่ของ ABA เกิดขึ้นทั้งใน xylem และ phloem แล้วยังเกิดใน parenchyma cell ที่อยู่ด้านนอกของ vascular bundles ได้อีกด้วย และเป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีขั้ว ดังนั้นการเคลื่อนที่ของ ABA ภายในพืชจึงเหมือนกับ GA

หน้าที่หลักของ ABA ในพืชคือ ทำให้ปากใบปิด เมื่อเกิดการขาดน้ำ (water stress) หรือเมื่อมีระดับของ CO_2 เพิ่มขึ้นในเซลล์ปากใบ (guard cells) เช่น ในตอนค่ำเมื่อการสังเคราะห์แสงหยุดลง แต่การหายใจยังคงดำเนินต่อไป

สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช

แบ่งออกได้เป็น 6 ชนิด ดังนี้คือ

1. Quaternary ammonium carbamates สารที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ Amo–1618 หรือ ACPC ซึ่งเป็นสารที่มีความรุนแรงในการยับยั้งการเติบโตมากที่สุดในบรรดาสารประกอบ quaternary
2. Quaternary phosphonium สารที่สำคัญซึ่งอยู่กลุ่มนี้ ได้แก่ Phosphon–D หรือ CBBP สารนี้สามารถละลายน้ำได้ดี มีความคงทนในดินมากกว่า 1 ปี วิธีการใช้ที่ได้ผลแก่การรดสารละลายลงดิน
3. Substiuted cholines เป็นสารพวก quaternary เช่นเดียวกับ Amo–1618 และ Phosphon–D สารที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ CCC ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี ความคงทนเมื่ออยู่ในดินประมาณ 3-4 สัปดาห์ ในการใช้กับพืชนั้นทำได้ทั้งวิธีการพ่นหรือลดสารละลายลงดิน แต่การรดลงดินจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า
4. Succinamic acid เป็นฮอร์โมนที่แตกต่างจากฮอร์โมนชนิดอื่น ๆ คือ โครงสร้างที่มีวงแหวนเบนซิน quaternary ammonium หรือ phosphonium cation สารที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ SADH, Alar, B-995, B-nine

5. Piperidine ฮอร์โมนกลุ่มนี้ได้แก่ Mepiquat–chloride ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า 1,1–dimethyl–piperidium chloride ($C_7H_{16}CIN$ M.W. 149.7) ชื่อการค้าได้แก่ pix สารชนิดนี้เป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ละลายได้ดีในน้ำ แต่ละลายได้น้อยมากในตัวทำละลายอินทรีย์ ช่วยลดความยาวของปล้อง ส่งเสริมการแตกกิ่งช่วยเพิ่มความเขียวเข้มของใบ ในบางกรณีจะช่วยส่งเสริมความยาวของปล้อง
6. Substituted pyrimidine สารที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ ancymidol หรือ A-rest เป็นสารที่ใช้ได้ผลดีทั้งวิธีการพ่นสารลงบนใบหรือรดลงดิน สามารถคงสภาพอยู่ในดินได้นานถึง 1 ปี ทำให้พืชเตี้ยแล้วยังทำให้มีการบานล่าช้าออกไปอีกด้วย

ผลของสารชะลอการเติบโตของพืช

1. ยับยั้งการขยายตัวของลำต้น เช่น SADH, CCC, Phosphon–D, Amo–1618, MH และ TIBA
2. เร่งการออกดอก สารชะลอการเจริญเติบโตของพืชสามารถเร่งการออกดอกของไม้เนื้อแข็งหลายชนิดให้เร็วขึ้น เช่น CCC, B 995, Phosphin–D กับ Rhododendron
3. ทำให้ใบเขียวเข้มและหนาขึ้น จากการที่มีชั้นของ spongy parenchyma เพิ่มขึ้นอีก 1-3 ชั้น
4. เพิ่มความสามารถในการทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ทนแล้ง ทนเค็ม ทนเปรี้ยว
5. เพิ่มผลิต ของพืชตระกูลถั่วได้หลายชนิด
6. ทำให้การเก็บเกี่ยวไม้ผลง่ายขึ้น โดยทำให้ผลที่สุกแล้วร่วงจากขั้วได้ง่าย
7. ทำให้พืชมีลำต้นแข็งแรง
8. เพิ่มคุณภาพของผลผลิต Mepiquat–chloride นอกจากจะเพิ่มผลผลิตของฝ้ายแล้วยังทำให้คุณภาพด้านการปั่นและทอของเส้นใยให้สูงขึ้น สีของปุยฝ้ายก็ขาวมากยิ่งขึ้น Ethepon ทำให้ผิวแอปเปิลสุกแดงโดยสม่ำเสมอน่ารับประทาน ในขณะที่ผลโดยทั่วไปที่ไม่ได้รับสารนี้จะมีสีไม่สม่ำเสมอ
9. ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้ยากำจัดแมลงและโรคพืช

วิธีการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น สารละลายเข้มข้น ผงละเอียด เกร็ด นอกจากนั้นยังมีจำหน่ายในรูปผสมกับปุ๋ยหรือสารอาหารพืชอื่นๆอีก วิธีการนำสารควบคุมการเจริญเติบโตไปใช้ในพืชจึงมีความหลากหลาย

1. ฉีดพ่นทางใบ หรือช่อดอก
2. ใส่ทางดิน ให้เข้าทางราก หรือเนื้อเยื่อระหว่างรากและลำต้น (collar)
3. ฉีดเข้าทางลำต้น
4. ทาที่กิ่ง ตา หรือลำต้น
5. ผสมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
6. ชุบ ทา หรือ ฉีดพ่นที่ผลผลิตโดยตรง เช่น ดอก ผล
7. นำผลผลิตไปแช่ในสารละลาย เช่น น้ำยายืดอายุการปักแจกัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของสารควบคุมการเจริญเติบโต

1.ชนิดและพันธุ์ของพืช (Species และ Cultivar)

2. ความสมบูรณ์และ/หรือความแก่ทางสรีรวิทยาของพืช

3. สภาพแวดล้อม ได้แก่ ชนิดและความเข้มของแสง อุณหภูมิ ความชื้น และความชื้นสัมพัทธ์

4. ส่วนผสมของบรรยากาศ เช่น ระดับของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ อาจจะเพิ่มหรือลดการสังเคราะห์เอทธิลีน แต่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะสามารถยับยั้งความสามารถในการทำงานของ เอทธิลีนได้

5.ชนิดและปริมาณของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ได้รับ และมีอยู่ภายในพืช

เอกสารอ้างอิง และหนังสืออ่านประกอบ

จงรักษ์ มูลเฟย. 2544. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารคล้ายจิบเบอเรลลินในช่วงก่อนการแตกใบอ่อนและออกดอกในยอดลำไยพันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 63 น.

จำนงค์ อุทัยบุตร. ไม่ระบุปีที่พิมพ์. เอกสารประกอบคำสอน ภาคบรรยายวิชาชีววิทยา 716 (202716) สารสังเคราะห์ที่ใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 210 น.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน , นครปฐม. 370 น.

ณรงค์ โฉมเฉลา. 2534. เทคโนโลยีการผลิตไม้ดอกไม้ประดับ. สมาคมไม้ประดับแห่งประเทศไทย. 193 น.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2539. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 216 น.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังเก็บเกี่ยวของพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 226 น.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2529. ส้มโอ. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 174 น.

นพดล จรัสสัมฤทธิ์. 2537. ฮอร์โมนพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. โรงพิมพ์สหมิตรออฟเซท, กรุงเทพฯ. 124 น.

นพดล จรัสสัมฤทธิ์. 2542. สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. สาขาไม้ผล คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 110 น.

นิตย์ ศกุนรักษ์. 2541. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. 237 น.

นิรันดร์ จันทวงศ์. 2536. การเจริญและการเติบโตของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 137 น.

พันทวี มาไพโรจน์. 2532. ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช : บทแนะนำความรู้พื้นฐาน. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 44 น.

พีรเดช ทองอำไพ. 2529. ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 196 น.

สัมพันธ์ คัมภิรานนท์. 2527. ฮอร์โมนพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 136 น.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 237 น.

สุวลี แสงอริยนันท์. 2540. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารคล้ายจิบเบอเรลลินในยอดลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยก่อนการออกดอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 81 น.

Beharav, A., Pinthus, M.J. and Caharner, A. 1994. Genotypic variation in the responsiveness to GA_3 within Tall (rht1) and Semi Dwarf (Rht1) Spring Wheat. Plant Growth Regul. 15:43-46.

Bernier, G., J.M. Kinit and R.M. Sachs. 1985. The Physiology of Flowering. Vol.II. Transition to Reproductive Growth. CRC Press, Florida. 231 p.

Biale,J.B. and R.E. Young. 1981. Respiration and ripening in fruit-retrospect and prospect, pp. *In* J. Friend and M.J.C. Rhodes (eds.) Recent Advance in the Biochemistry of Fruit and Vegetables. Academic Press, London.

Chen, W.S. 1987. Endogenous growth substances in relation to shoot growth and flower bud development of mango.J.Amer.Soc.Hort.Sci. 112(2):360-363.

Chen, W.S. 1990. Endogenous growth substances in xylem and shoot tip diffusate of lychee in relation to flowering. HortScience 25(3):314-315

Chen, W.S. 1991. Changes incytokinins before and during earing flower bud differentiation in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Plant Physiol. 96:1203- 1206

Chen, W.S., Liu, H.Y., Liu Z.H., Yang L. and Chen W.H. 1994. Gibberellin and temperature influence carbohydrate content and flowering in *Phalaenopsis*. Phusiol. Plant. 90:391-395.

El-Asdoudi, A.H. 1995. Gibberellin Effect on Pepper Vegetative Growth. Hort. Abstr. 66(7):761.

El-Otmani, M., Ismail, M.C., Oubahou A. and Achouri M. 1995. Growth regulators use on elementine mandarin to improve fruit set. Hort. Abstr. 65(7): 526.

Goren, R., Hubeman M. and Riou. J. 1995. Efffects of gibberelling and guding on the yield of Nova (elementine x Orlando tangelo) and Niva (valenera Wilkin). Hort. Abstr. 65(7):526.

Greene, D.W. 1989. Gibberellina A_{4+7} influence fruit set, fruit quality and return bloom of apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114(4):619-625.

Grzesik, M. 1996. Effect of growth regulators on plant growth and seed yield on Matthiola incana, Brillant “Barbara”. Hort. Abstr. 66(7):772.

Jones, T.W.A. and Thomas, A.M. 1993. Flowering and gibberellins in mutant red clover (*Trifolium pratense* L.). Plant Growth Regul. 12:11-16.

Maggon, R. and B.D. Singh. 1995. Promotion of adventitious bud regeneration by ABA in combination with BAP in epicotyl and hypocotyl explants of sweet orange (*Citrus reticulata* Blanco). J. Hort. Abstr. 65(11): 1307.

Nachtigal, J.C., A.G.D. Zecca, S.L.B. Figueiredo and G.R. Fortes. 1997. Effect of benzylaminopurine (BAP) on the *in vitro* multiplication of kiwifruit (*Actnidia deliciosa*.). Hort. Abstr. 67(4): 348 p.

Nicholas, C., Nicholas G. and Rodriguez, D. 1996. Antagonistic effects of abscisic acid and gibberillic acid on the breaking of dormancy of *Fagus sylvatica* seeds. Physiol. Plant. 96:244-250.

Oiguang, Y., Lizhong R. and Guohua D. 1985. Effects of ethephon, GA_3 and nutrient elements on sex expression of Chinese chestnut. Sci. Hort. 26:209-215.

Robert, N.J., R.C. Menary and P.J. Hofman. 1991. Plant growth substances in *Boronia megastigma* Nees. During flowering. J. Hort. Sci. 66 (3): 327-334.

Taiz, L., and Zeiger, E. (1991). Cytokinins. Plant Physiology. 565 p.

Yang, S.F. 1981. Biosynthesis of Ethylene and its regulation, 91-121. *In* J. Friend and M.J.C. Rhodes (eds.) Recent Advance in the Biochemistry of Fruit and Vegetables. Academic Press, London.

Yang, S.F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. HortScience. 20(1) : 41-57