บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

แตงกวา

แตงกวา (Cucumber: *Cucumis sativus* Linn.) เป็นพืชฤดูเดียว อยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae เป็นพืชตระกูลเดียวกันกับแตงโม ฟักทอง บวบ มะระ น้ำเต้า ซึ่งมีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย มีอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้น โดยใช้เวลาเพียง 30-45 วันหลังจากปลูก เมื่อเปรียบเทียบรายได้จากการปลูกแตงกวากับพืชอื่นๆ หลายชนิดแล้ว แตงกวาเป็นพืชหนึ่งที่สามารถทำรายได้ดี สำหรับในแง่ของผู้บริโภคแล้ว แตงกวาสามารถนำไปปรุงอาหารได้มากมายหลายชนิด เช่น นำไปทำแกงจืด ผัด จิ้มน้ำพริก หรืออาจแปรรูปเป็นแตงกวาดอง แตงกวามีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย แถบเทือกเขาหิมาลายา (จานุลักษณ์, 2541) โดยพบสายพันธุ์ป่าที่มีลักษณะใบและผลแตกต่างกันหลายรูปแบบ จากนั้นเผยแพร่เข้าไปในประเทศจีน ปัจจุบันมีการปลูกแตงกวาโดยทั่วไปในเขตอบอุ่นและเขตร้อน หรือแถบเอเชียกลางและตะวันออก แอฟริกา มีผู้ค้นพบหลักฐานว่ามนุษย์นำแตงกวามาปลูกและบริโภคมากว่า 3,000 ปี ชาวกรีกและโรมันนำเข้าไปเผยแพร่ในยุโรป และชาวยุโรปนำเข้าไปเผยแพร่ในสหรัฐอเมริกา มีหลักฐานการนำแตงกวาเข้ามาเผยแพร่ในประเทศไทยปรากฏในแคตตาล๊อคตราสตางค์ เล่มที่ 7 พ.ศ.2480-2483 โฆษณาขายเมล็ดพันธุ์ อิมปรู๊ฟ ลองกรีน เออลี่ฟอร์จูนแฟนซี ฟิคคลิ้ง และกรีนโปรสิฟิค

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แตงกวาอยู่ในกลุ่มไม้เนื้ออ่อน อวบน้ำ เป็นพืชฤดูเดียว มีจำนวนโครโมโซม 2n=14

ลำต้น การเจริญในระยะแรกจะตั้งตรง หลังจากนั้นจะเจริญเป็นเถายาว 4-8 ฟุต แตกกิ่งแขนงมากยาว 2-5 ฟุต กิ่งแขนงจะเป็นแบบ sympodial type โดยแต่ละข้อของกิ่งแขนงจะมีตาข้างซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญ สำหรับกิ่งและผลใหม่ อยู่ด้านตรงข้ามกับใบ ลำต้นจะมีผิวขรุขระ

เมื่อผ่าตัดตามขวางจะเป็นรูปเหลี่ยม เมื่อลำต้นแก่ไส้กลางอาจจะกลวง แต่ละข้อจะมีใบเดี่ยวอยู่สลับกัน ขนาดกว้าง 10-20 เซนติเมตรในแตงกวาธรรมดา และ 20-40 เซนติเมตรสำหรับแตงกวาไม่มีเมล็ด มีก้านใบยาว 7-20 เซนติเมตร ขอบใบหยักมีห้าเหลี่ยม ส่วนกลางของใบจะกว้างที่สุด มีขนปกคลุมผิวใบ หลังจากข้อที่ 3-5 จะมีมือเกาะ ด้านล่างของก้านใบ เมื่อมือเกาะเจริญบนวัตถุ จะเจริญพันหมุนเวียนรอบวัตถุนั้น ลำต้นเมื่อตัดตามด้านขวางจะพบกลุ่มของท่อน้ำท่ออาหารจำนวนสิบท่อ แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกจะมีขนาดเล็ก อยู่ในขอบเหลี่ยมของลำต้น กลุ่มที่สองจะอยู่ด้านใน เมื่อปลูกแบบเลื้อยในแปลงปลูกในสภาพที่มีความชื้นเหมาะสม รากพิเศษจะเจริญออกมาจากข้อ

ราก Weaver & Bruner (1927) รายงานว่า รากแก้วจะเจริญในแนวดิ่งอย่างรวดเร็วในสภาพอากาศเหมาะสมรากจะเจริญ 1 นิ้วต่อวัน โดยอาจยาวได้ถึง 1 เมตร เมื่อเจริญลึกถึงระดับหนึ่ง รากแขนงจะเจริญในแนวนอนรอบๆ ต้น ต่อจากนั้นจะเจริญขนานไปกับเถาและปกติจะยาวกว่าเถา ส่วนใหญ่จะเจริญอยู่อย่างหนาแน่นในระดับความลึก 30 เซนติเมตร รากแขนงบางรากเมื่อเจริญในแนวนอนยาว 1-2 ฟุต จะเจริญต่อในแนวดิ่ง ซึ่งอาจจะเจริญลึกกว่ารากแก้ว และสามารถทดแทนรากแก้วเมื่อต้นแก่

ดอก แตงกวาส่วนใหญ่จะมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกัน แต่อยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious plant) เช่น สายพันธุ์พื้นเมือง สายพันธุ์จากสหรัฐอเมริกาหรือสายพันธุ์ที่ใช้สำหรับดอง ดอกตัวเมียส่วนใหญ่จะเจริญเป็นดอกเดี่ยว บนข้อของเถาใหญ่และเถาแขนง มีเกสรตัวผู้ที่ไม่สมบูรณ์ กลีบดอกสีเหลืองมีจำนวนห้ากลีบ ก้านเกสรตัวเมียอวบสั้น มียอดเกสรแบ่งเป็นสามส่วน รังไข่ปรากฏชัดเจน ในรังไข่มีช่องว่างสามช่อง ต่อมน้ำหวาน (nectary) มีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่รอบฐานก้านเกสรตัวเมีย ดอกตัวผู้สังเกตได้ง่าย เนื่องจากมีก้านดอกเรียวเล็กไม่มีรังไข่ มีกลีบเลี้ยงห้ากลีบ กลีบดอกสีเหลืองห้ากลีบ มีก้านเกสรตัวผู้ 3 ก้าน โดยสองก้านจะมีอับละอองเกสรสองอันและอีกก้านหนึ่งมีหนึ่งอัน เจริญที่ข้อเป็นกลุ่มๆ ละ 3-5 ดอก

ลักษณะดอกตัวผู้และดอกตัวเมียของแตงกวา

ในปัจจุบันสายพันธุ์ที่ใช้ปลูกเพื่อการค้า(cultivar: cv) และสายพันธุ์ที่ใช้เป็นพ่อ/แม่สำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมชั่วแรก จะมีการแสดงออกของตำแหน่งดอกตัวเมียได้ 4 กลุ่มคือ

1. ดอกตัวเมียเจริญเฉพาะเถาหลัก (Gynoecious main vine type)

2. ดอกตัวเมียเจริญในเถาหลักและเถาแขนง (Gynoecious main and lateral vine type)

3. ดอกตัวเมียเจริญทั้งเถาหลักและเถาแขนง ซึ่งเจริญจากเถาหลักทุกข้อ (Quasigynoeciousmain and lateral vine type)

4. ดอกตัวเมียเจริญเฉพาะเถาแขนง (Quasi-gynoecious lateral vine type) นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ซึ่งมีเฉพาะดอกตัวเมียและสามารถติดผลได้โดยไม่มีการผสมเกสร (Gynoecious parthenocarpic) แตงกวาจะมีอัตราการผสมข้ามสูง ดังนั้นจึงเป็นต้องอาศัยแมลง เช่น ผึ้ง ช่วยในการผสมเกสร ในแคนาดา จะใช้ผึ้งหนึ่งรังต่อแตงกวา 50,000 ต้น แต่สายพันธุ์แตงกวาที่ปลูกในเรือนโรงของยุโรปส่วนใหญ่จะเป็นแบบ gynoecious บางสายพันธุ์อาจจะเป็น predominantly female type และเป็น parthenocarpic type จึงไม่จำเป็นที่จะต้องผสมเกสร สายพันธุ์ในกลุ่มนี้จะต้องป้องกันไม่ให้มีการผสมเกสร เนื่องจากจะทำ ให้ผลบวม คุณภาพต่ำ

ผล เป็นแบบ false berry หรือ pepo ลักษณะกลมยาวหรือเป็นเหลี่ยม ขนาด รูปร่าง สี ขึ้นอยู่ กับสายพันธุ์ โดยทั่วไปผลเมื่อยังอ่อน จะมีสีเขียวเมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือขาว เจริญจากเถาหลักและเถาแขนง

สภาพแวดล้อมและการเจริญเติบโต

แตงกวาเป็นพืชในเขตกึ่งร้อน สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มของแสงสูง ตลอดจนมีความชื้นและธาตุอาหารพอเพียงและสม่ำเสมอ ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ปราศจากโรค แมลง พืชจะเจริญอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตัดแต่งกิ่ง เพื่อให้ใบได้รับแสงเต็มที่ การหมุนเวียนของอากาศดี การติดผลมากเกินไป อาจจะทำให้มีอาหารไปเลี้ยงผลไม่พอเพียงทำให้ผลมีคุณภาพต่ำ ควรปลิดผลทิ้งให้มีจำนวนที่เหมาะสม ในกรณีที่พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ลำต้นขนาดใหญ่ บิดหรือแตก ใบขนาดใหญ่มือเกาะ (tendrils) ยาว ใบสีเขียวเข้ม ผลจำนวนมาก ดอกขนาดใหญ่ สีเหลืองเข้ม แสดงว่าอัตราการเจริญสูงเกินไป ในทางตรงกันข้ามถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม ขาดน้ำ อาหาร พืชจะชะงักการเจริญ อุณหภูมิของอากาศ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการ

เจริญเติบโต การเจริญของดอก การติดและการเจริญของผล ตลอดจนคุณภาพของผล การเจริญของแตงกวาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวัน ถ้าหากอุณหภูมิเฉลี่ยสูง อัตราการเจริญจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนสูง ความสูงของพืชจะเพิ่มขึ้นแต่ขนาดของใบจะลดลง อัตราการเจริญของพืชจะสูงที่สุดในอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันและกลางคืน 28 องศาเซลเซียส ผลผลิตจะสูงที่สุดในอุณหภูมิกลางคืน 19-20 องศาเซลเซียส และกลางวัน 20-22 องศาเซลเซียส แตงกวาเป็นพืชที่ชอบอากาศอบอุ่น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 18-24 องศาเซลเซียส และมีความชื้นในอากาศต่ำ ในสภาพความชื้นในอากาศสูง จะทำให้เกิดโรคทางใบได้ง่าย ในสภาพความชื้นในอากาศต่ำ นอกจากจะเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตยังเหมาะสำหรับการผสมเกสร และการเจริญของผล เนื่องจากเป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเปิดของอับละอองเกสร และการทำงานของแมลง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแตงกวาสำหรับการแปรรูป (pickling cucumber) คืออุณหภูมิกลางวัน 26-27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันประมาณ 21องศาเซลเซียส การทดลองที่เดนมาร์คของ Ohlsen (1991) พบว่าการเจริญในระยะเริ่มแรกของแตงกวาต้องการอุณหภูมิระหว่าง 22-24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการเจริญของดอก การติดและการเจริญของผลอยู่ระหว่าง 18-19 องศาเซลเซียส

เนื่องจากแตงกวาส่วนใหญ่ จะมีเกสรตัวผู้และตัวเมียแยกกัน แต่อยู่บนต้นเดียวกัน โดยทั่วไปจะมีเกสรตัวผู้มากกว่าตัวเมีย เป็นผลให้มีผลผลิตต่ำ Mac Muray and Miller (1968) ได้ทำการทดลองใช้ฮอร์โมนเพื่อเพิ่มเกสรตัวเมีย พบว่า Ethephon ความเข้มข้น 120,180 และ 240 ppm สามารถเพิ่มดอกตัวเมียในแตงกวาพันธุ์ Model, Chipper, SC 19 และ SC 23 ได้ โดยฉีดครั้งเดียวหรือหลายครั้ง และสังเกตพบว่าพันธุ์ SC 23 ปกติจะมีดอกตัวเมียเจริญในข้อที่ 3, 9 และ 16 ส่วนข้อที่ 17-20 จะเป็นดอกตัวผู้ อัตราส่วนระหว่างดอกตัวผู้และตัวเมียคือ 10 : 1 การใช้เอทธิฟอน จะทำให้ดอกข้อที่ 1 - 16 เปลี่ยนเป็นตัวเมีย และอัตราส่วนระหว่างตัวผู้ต่อตัวเมียจะเปลี่ยนเป็น 6 : 1 - 1.4 : 1 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ฉีด เอทธิฟอนที่ความเข้มข้น 240 ppm จะช่วยกระตุ้นให้เกิดดอกตัวเมีย ในพันธุ์ Model ภายในเวลา 2.5 สัปดาห์ และสามารถเพิ่มผลผลิตของพันธุ์ Model, SC 23 และChipper ได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังทำให้เก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าปกติ Augustin, Baker, & Sell (1973) รายงานว่าการใช้เอทธิฟอน 50 ppm ฉีดแตงกวาระยะที่มี ใบจริง 3 และ 4 ใบ จะทำให้เกิดการเจริญของดอกตัวเมียมากที่สุด Cantliffe (1974) กล่าวว่า

การเจริญของผลในข้อแรก ๆ ของต้น จะทำให้ผลในข้อหลังๆ ไม่เจริญ การฉีด Chloroflurenol จะสามารถแก้ปัญหานี้และสามารถเพิ่มผลผลิตได้ ทั้งในดอกที่ได้รับการผสมเกสร และไม่ได้ผสม สำหรับในกรณีที่ไม่มีการผสมเกสรสารนี้สามารถกระตุ้นให้เกิดการเจริญของผลแบบ parthenocarpy นอกจากนี้การฉีดสารนี้จะทำให้ผล 80 เปอร์เซ็นต์มีเมล็ด ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ไม่มีเมล็ด แต่อย่างไรก็ตามเมล็ดที่ติดจะมีคุณภาพต่ำลงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ การฉีดหลังการผสมเกสรจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารและการติดผล นอกจากนี้ Thompson (1979) พบว่าการฉีดจิบเบอเรลลินขณะที่ใบจริงใบแรกกางออกเต็มที่และฉีดอีกสองครั้งโดยห่างกัน 5 วัน จะสามารถเพิ่มดอกตัวผู้ได้ พันธุ์ที่ปรับปรุงใหม่บางสายพันธุ์ได้พัฒนาให้มีเฉพาะเกสรตัวเมีย (gynoeciousline) เพื่อเพิ่มผลผลิต ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการรักษาและขยายสายพันธุ์ เนื่องจากขาดเกสรตัวผู้ จึงได้มีการทดลองฉีดฮอร์โมน พบว่าจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 ppm สามารถเพิ่มดอกตัวผู้ในแตงสายพันธุ์ Wisconsin SMR 12 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ใช้สำหรับดองได้ Bukovac and Wittwer, (1961); Kalloo and Franken (1979) ได้ทดสอบการใช้สารเคมีเพื่อเปลี่ยนเพศแตงกวา ในสายพันธุ์ genoecious 4 สายพันธุ์คือ EsWrD, WLD, ECD และWrD โดยใช้ กรดจิบเบอเรลลิค ความเข้มข้น100, 500 และ1000 ppm Silver Nitrate ความเข้มข้น 50, 200 และ500 ppm เอทธิฟอน 100, 200 ppm ฉีดเมื่อใบจริงใบแรกมีขนาด 2.5 เซนติเมตร พบว่า Silver Nitrate และ กรดจิบเบอเรลลิค สามารถเพิ่มดอกตัวผู้ได้และ Silver Nitrate ให้ผลดีกว่ากรดจิบเบอเรลลิค Karim (1990) ทดลองใช้ฮอร์โมนเพื่อการเปลี่ยนเพศแตงกวา โดยใช้แตงกวาสายพันธุ์ Burplees Hybrid โดยใช้น้ำเปล่าเป็น control เอทธิฟอนที่ความเข้มข้น 250 และ 300 ppm กรดจิบเบอเรลลิคที่ความเข้มข้น 1000 และ 2000 ppm ฉีดในระยะที่มีใบจริง 1-2-3-4 ใบ พบว่า เอทธิฟอน ให้ดอกตัวเมียมากที่สุดในการฉีดทุกระยะ สำหรับ กรดจิบเบอเรลลิคจะให้ดอกตัวผู้มากอย่างมีนัยสำคัญ ในด้านระยะเวลาที่เหมาะสม การฉีดระยะที่มีใบจริง 4 ใบจะตอบสนองต่อฮอร์โมนต่ำที่สุด เอทธิฟอน ความเข้มข้น 250 ppm ฉีดในระยะที่มีใบจริง 2 ใบ จะให้ดอกตัวเมียสูงที่สุด Vadigeri and Madalageri (1992) ทดลองใช้ฮอร์โมนเพื่อเพิ่มอัตราดอกตัวเมีย พันธุ์ Poinsette และ Belguam Local โดยใช้ Ethrel (เอทธิฟอน) ความเข้มข้น 200 และ 400 ppm GA_3 ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm ฉีดระยะที่มีใบจริง 5 ถึง 6 ใบ พบว่า เอทธิฟอน 400 ppm สามารถเพิ่มดอกตัวเมียและติดผลสูงกว่า ที่ไม่ได้รับฮอร์โมนอย่างมีนัยสำคัญ

ลักษณะผิดปกติของผล

โดยปกติแล้วแตงกวาอาจจะมีลักษณะที่ผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งลักษณะผิดปกติเหล่านั้นเกิดจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ผลงอเกิดจากสาเหตุ ดังนี้

1. ความเข้มของแสงต่ำ
2. อุณหภูมิต่ำ
3. ใบพืชไม่สมบูรณ์
4. สายพันธุ์

ขนาดของผลไม่สม่ำเสมอเกิดจากสาเหตุ ดังนี้

1. ขาดธาตุอาหาร
2. ได้รับละอองเกสรน้อย

เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช คือการนำเอาส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชเช่น ใบ ตายอด ตาข้าง เนื้อเยื่อ หรือเซลล์มาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วย แร่ธาตุ น้ำตาล วิตามิน และสารควบคุมการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังต้องทำการเพาะเลี้ยงในสภาพที่ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์และในสภาวะที่ควบคุมสิ่งแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิ แสง และความชื้น ซึ่งชิ้นส่วนของพืชดังกล่าวจะมีการเจริญเติบโตและพัฒนาไปในรูปแบบต่างๆ เช่น เกิดเป็นยอด เกิดเป็นราก เกิดเป็นเอมบริโอ หรือเกิดเป็นกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า “แคลลัส” ที่สามารถชักนำให้เกิดเป็นพืชต้นใหม่ที่สมบูรณ์จำนวนมากได้ หลักการสำคัญของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชคือต้องทำในสภาพที่ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ กล่าวคือทุกขั้นตอนต้องปราศจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยขั้นตอนในการทำงานจะเริ่มจากการฟอกฆ่าเชื้อที่ชิ้นส่วนพืช แล้วตัดเอาเฉพาะส่วนที่ต้องการนำมาวางเพาะเลี้ยงในหลอดทดลองหรือขวดแก้วที่บรรจุอาหารสังเคราะห์ซึ่งได้ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้วเช่นกัน ขวดเพาะเลี้ยงนี้จะถูกนำมาวางเลี้ยงในห้องที่มีการควบคุมสภาวะต่างๆ เช่น แสง อุณหภูมิ

ให้เป็นไปตามที่ต้นพืชต้องการ ชิ้นส่วนของพืชจะได้รับแร่ธาตุและสารอาหารจากอาหารสังเคราะห์และเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งการเจริญเติบโตของชิ้นส่วนพืชนี้สามารถควบคุมได้โดยการเลือกใช้สูตรอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสม เช่น ฮอร์โมนพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเพาะเลี้ยงว่าต้องการให้ชิ้นส่วนนั้นเจริญไปเป็นส่วนใด เช่น ถ้าต้องการให้เจริญไปเป็นส่วนลำต้นก็สามารทำการชักนำ โดยใช้ฮอร์โมนพืชกลุ่มไซโตไคนิน (Cytokinin) หากต้องการให้เกิดรากอาจใช้ฮอร์โมนกลุ่มออกซิน (Auxin) หรืออาจจะใช้ฮอร์โมนหลายๆ ชนิดร่วมกัน

ปัจจัยที่มีผลในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช คืออาหารเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนของพืชที่นำมาเพาะเลี้ยง และสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยอาหารเพาะเลี้ยงนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จในการเพาะเลี้ยง อาหารเพาะเลี้ยงมีมากมายหลายสูตรให้เลือกใช้งาน เช่น สูตร Murashige and Skoog (MS) เป็นสูตรพื้นฐานที่นิยมใช้กับพืชทั่วๆ ไป สูตร Vacin and Went เหมาะสำหรับการเพาะเลี้ยงกล้วยไม้สกุลต่างๆ สูตร Woody Plant Medium (WPM) เหมาะสำหรับการเพาะเลี้ยงพืชพวกไม้เนื้อแข็ง โดยทั่วไปสูตรอาหารเหล่านี้จะประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแตสเซียม (K) ธาตุอาหารรองที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยเช่น โบรอน(B) โมลิบดินัม(Mo) แมงกานีส(Mn) โคบอลต์(Co) สังกะสี(Zn) ทองแดง(Cu) ไอโอดีน(I)และธาตุอาหารอื่นๆ เช่น วิตามิน กรดอะมิโน และน้ำตาล นอกจากนี้อาจจะมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช หรือที่เรียกว่าฮอร์โมนพืช หรือสารจากธรรมชาติอื่นๆ เช่น น้ำมะพร้าว มันฝรั่ง กล้วยหอม สารสกัดจากยีสต์ ซึ่งจะมีสารช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชรวมอยู่ด้วย

ประโยชน์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

1. การขยายพันธุ์พืช การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถขยายพันธุ์พืชที่ขยายพันธุ์ด้วยวิธีอื่นได้ยาก หรือขยายได้ช้า เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสามารถเพิ่มจำนวนต้นได้จำนวน

มากอย่างรวดเร็ว สามารถผลิตต้นพันธุ์ได้ตลอดปี ซึ่งต้นพันธุ์ที่ได้จะมีลักษณะเหมือนเดิมทุกประการและให้ผลผลิตคุณภาพดี พืชหลายชนิดที่มีปัญหาในการขยายพันธุ์แบบปกติแต่ปัจจุบันประสบความสำเร็จในการขยายพันธุ์โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ได้แก่ กล้วยไม้ หน้าวัว หน่อไม้ฝรั่ง

2. การผลิตต้นพันธุ์ที่ปราศจากโรค พืชหลายชนิดจะมีเชื้อไวรัสแฝงตัวอยู่ในท่อลำเลียง จึงเป็นการยากต่อการผลิตพันธุ์พืชที่ปราศจากโรค ดังนั้นการเพาะเลี้ยงส่วนของปลายยอดที่ยังไม่มีท่อลำเลียงจะสามารถขจัดการปนเปื้อนของไวรัสเหล่านั้นได้ มีพืชหลายชนิดที่ใช้เทคนิคนี้ได้สำเร็จ เช่น มันฝรั่ง สตรอเบอรี่ ขิง ฯลฯ

3. การผลิตสารสำคัญ พืชหลายชนิดสามารถผลิตสารสำคัญได้ ซึ่งสารสำคัญเหล่านี้ เช่น สารตัวยารักษาโรค สีที่ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งการนำพืชเหล่านี้มาเพาะเลี้ยงในสภาวะที่ควบคุมได้จะสามารถชักนำให้เซลล์ของพืชผลิตสารในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

4. การอนุรักษ์พันธุกรรมและการแลกเปลี่ยนพันธุ์พืช เป็นการเก็บรวบรวมพันธุ์พืชโดยการเพาะเลี้ยงไว้ในขวดและบังคับให้เติบโตอย่างช้าๆ ซึ่งทำให้สามารถเก็บรักษาพันธุ์พืชไว้ได้นาน ประหยัดพื้นที่และแรงงาน นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการแลกเปลี่ยนพันธุ์พืชกับต่างประเทศเพราะอยู่ในขวดและปราศจากเชื้อโรค

5. การปรับปรุงพันธุ์พืช เป็นการนำเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาประยุกต์ใช้ เช่น การสร้างพืชโครโมโซมชุดเดียว การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ การรวมเซลล์พืช (Protoplast Fusion) และ พันธุวิศวกรรมของพืช

การผสมข้าม

ความหมายและลักษณะสำคัญของพืชผสมข้าม

พืชผสมข้าม (cross-pollinated crops) คือพืชที่โดยธรรมชาติแล้วสร้างเมล็ดจากการผสมข้ามต้นกัน กล่าวคือไข่ของพืชต้นหนึ่งจะถูกผสมโดยเชื้อตัวผู้ของพืชอีกต้นหนึ่ง จากการผสมข้ามระหว่างพืชหลายต้นอยู่เสมอ ทำให้ประชากรของพืชผสมข้าม ประกอบไปด้วยกลุ่มของ

ต้นพืชหลายต้นที่เป็นพันธุ์ทาง (heterozygous) อยู่ด้วยกัน ต้นพืชแต่ละต้นในประชากรจึงมีลักษณะที่แตกต่างกันอยู่ระดับหนึ่ง เนื่องจากมีจีโนไทป์ (genotype) ที่แตกต่างกัน ทำให้ประชากรมีคุณสมบัติที่เรียกว่า heterogeneous population คือเป็นประชากรที่มีความหลากหลาย ของลักษณะต่างๆ ในประชากรของพืชผสมข้ามที่มีขนาดใหญ่ เมื่อปล่อยให้มีการผสมพันธุ์กันอย่างอิสระแบบสุ่มไม่มีการคัดเลือกพันธุ์ ไม่มีการกลายพันธุ์และไม่มีการย้ายที่อยู่ของต้นพืชต่างพันธุ์ระหว่างประชากรแล้ว จะทำให้อัตราส่วนของยีนและจีโนไทป์คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถประเมินค่า อัตราส่วนของยีนและจีโนไทป์ของลักษณะที่มียีนควบคุมเพียง 1-2 คู่ได้ซึ่งเป็นการอาศัย กฎของฮาร์ดีและไวน์เบอร์ก (Hardy-Wienberg Law) พืชผสมข้ามเมื่อเกิดการผสมแบบอินบรีดดิ่ง (inbeeding) ที่ได้แก่การผสมตัวเอง (selfing) หรือการผสมข้ามในกลุ่มพี่น้อง (sib mating) จะทำให้เกิดการเสื่อมถอยของลักษณะต่างๆ ที่เรียกว่า inbreeding depression

สาเหตุที่พืชผสมข้าม

1. กรณีที่พืชมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันอยู่คนละต้น (dioecy)

2. กรณีที่พืชมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious plant) หรืออยู่ในดอกเดียวกัน (hermaphroditic, bisexual, monoclinous, or perfect flower) แต่มีสาเหตุที่ทำให้พืชผสมข้ามมีดังนี้คือ

1) ตัวผู้เป็นหมัน (male sterility) คือการที่ดอกตัวผู้หรือดอกกระเทยของพืชไม่สร้างละอองเกสร มีละอองเกสรฝ่อลีบ หรืออับเรณูปิดไม่สามารถปล่อยละอองเกสรได้ตามปกติทำให้ตัวผู้เป็นหมันสาเหตุเกิดจากการควบคุมโดย ยีน ไซโตพลาสซึมหรือทั้งยีนและไซโตพลาสซึม

2) การผสมตัวเองไม่ติด (self-incompatibility) คือการที่พืชผสมตัวเองตามธรรมชาติ ภายในดอกเดียวกัน ระหว่างดอกภายในต้นเดียวกันหรือระหว่างต้นที่มีจีโนไทป์เหมือนกันในระยะดอกบานแล้วไม่ติดเมล็ด พบในยาสูบ ข้าวไรน์ และผักตระกูลกะหล่ำ เช่นผักกาดหัว บร็อคโคลี่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาวปลี เป็นต้น

3. ตำแหน่งของเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ห่างกัน พบว่าในพืชบางชนิดถึงแม้จะมีดอกสมบรูณ์เพศแต่ก็ไม่สามารถผสมตัวเองได้ เนื่องจากความแตกต่างกันของความยาวของก้าน

เกสรตัวเมีย (style) และก้านเกสรตัวเมีย (style) ซึ่งมีอยู่ 2 กรณีด้วยกันคือ Pin flower ที่มีส่วนของก้านเกสรตัวเมียยาวแต่มีก้านเกสรตัวผู้สั้น และThrum flower ที่มีก้านเกสรตัวเมียสั้นแต่มีก้านเกสรตัวผู้ยาว

4. เวลาในการปล่อยละอองเกสร (pollen shed) และเวลาที่เกสรตัวเมียยอมรับการผสมเกสร (stigma receptive) นั้นแตกต่างกัน ซึ่งมีอยู่ 2 กรณีคือ

1) protandry เป็นกรณีที่พืชปล่อยละอองเกสรก่อนการยอมรับการผสมของเกสรตัวเมีย พบใน แครอท หอมหัวใหญ่ แตงโม แตงกวา บีท และทานตะวัน เป็นต้น

2) protogyny เป็นกรณีที่พืชปล่อยละอองเกสรหลังการยอมรับการผสมของ เกสรตัวเมีย พบใน มันเทศ อะโวกาโด และสตอร์เบอรี่ เป็นต้น

5. พาหะของการผสมข้ามตามธรรมชาติ การผสมข้ามของพืชตามธรรมชาตินั้นจะอาศัยพาหะต่างๆ ดังนี้คือ

1) สิ่งมีชีวิต (Biotic vectors) ที่ได้แก่แมลงเช่น ผึ้งต่างๆ แมลงวัน ผีเสื้อ มดและเพลี้ยไฟ รวมทั้งนกและค้างคาว สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะเข้าหาต้นพืชโดยอาศัยสิ่งที่พืชสร้างขึ้นมาล่อหรือดึงดูดที่ ได้แก่ สีดอก น้ำหวาน และกลิ่น เป็นต้น

สำหรับขนาดละอองเกสรของพืชที่อาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นพาหะนั้น จะมีขนาดใหญ่กว่าละอองเกสรของพืชที่ผสมข้ามโดยสิ่งไม่มีชีวิต ความสำเร็จของการผสมข้ามตามธรรมชาตินั้นขึ้นอยู่กับ จำนวนประชากรของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวว่ามีจำนวนมากหรือน้อย โดยเฉพาะในระยะที่พืชออกดอก สำหรับสภาพในปัจจุบันนี้มีปัญหามาก เนื่องจากสิ่งมีชีวิตดังกล่าวได้ถูกทำลายไปโดยการใช้สารเคมี ป้องกันและกำจัดแมลง ดังนั้นจึงต้องมีการเพาะเลี้ยงสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ขึ้นมาเพื่อช่วยในการผสมเกสร เช่นการเลี้ยงผึ้ง และการเลี้ยงแมลงวัน

2) สิ่งไม่มีชีวิต (Abiotic vectors) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ลม (wind-pollination หรือ anemophily) และส่วนน้อยได้แก่ น้ำ (water-pollination หรือ hydrophily) เช่น ฝนกรณีที่อาสัยลมเป็นพาหะในการผสมเกสรนั้น ละอองเกสรที่พืชสร้างขึ้นจะมีปริมาณ มากและเบา เพื่อให้ลอยไปตามลมได้

การออกดอกและการติดผลของพืช

ผลผลิตของพืชเป็นผลสืบเนื่องจากการที่พืชได้ผ่านกระบวนการออกดอกและติดผล ซึ่งมีปัจจัยสภาพแวดล้อมเกี่ยวข้องที่สำคัญคือช่วงแสง (day length) และอุณหภูมิ ปรากฏการณ์ที่ช่วงแสง อุณหภูมิแตกต่างไปตามฤดูกาล ขึ้นอยู่กับละติจูดที่แตกต่างออกไปตั้งแต่เส้นอิเควเตอร์ถึงขั้วโลก

การตอบสนองต่อช่วงแสง (Photoperiodism)

ตัวอย่างการตอบสนองของพืชต่อช่วงแสง Gardner and Allard (1985) พบว่าถั่วเหลือง พันธุ์ "Biloxi" ที่ปลูกตั้งแต่ต้นฤดูใบไม้ผลิถึงกลางฤดูร้อน สามารถเก็บเกี่ยวได้พร้อมกันในฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งเขาสรุปได้ว่า การตอบสนองเช่นนี้เนื่องจากช่วงวันที่สั้นกว่าความยาววันวิกฤต (critical day length) และถูกจัดเป็นพืชวันสั้น จากผลดังกล่าวทำให้มีการจัดแบ่งพืชออกเป็นพืชวันสั้นและพืชวันยาว คือพืชวันสั้นจะมีการชะลอการออกดอกออกไปถ้าได้รับช่วงวันยาวกว่าช่วงวันวิกฤต หรือพืชจะมีการเจริญทางต้นและใบ ตรงกันข้ามพืชวันยาวถ้าได้รับช่วงวันสั้นกว่าช่วงวันวิกฤตจะทำให้พืชไม่ออกดอก

จากการตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงที่แตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด Gardner et al. (1985) แบ่งพืชออกได้เป็น 5 กลุ่ม

1. พืชวันสั้น (Short-day plants หรือ SDPS) คือ พืชที่ออกดอกเมื่อได้รับช่วงแสงสั้นกว่าช่วงวันวิกฤต

2. พืชวันยาว (Long-day plants หรือ LDPS) คือพืชที่ออกดอกเมื่อได้รับช่วงแสงยาวกว่าช่วงวันวิกฤต

3. พืชที่ต้องการวันสั้นตามวันยาว (Short-long-day plants หรือ SLDPS) คือพืชที่ออกดอกเมื่อได้รับช่วงวันสั้นระยะหนึ่งและตามด้วยการได้รับแสงวันยาวพบในพืชเขตtemperate ได้แก่ perennial grass (เช่น orchardgrass)

4. พืชที่ต้องการวันยาวตามด้วยวันสั้น (Long-short-day plants หรือ LSDPS) คือพืชที่ออกดอกเมื่อได้รับช่วงวันยาวระยะหนึ่งและจากนั้นได้รับช่วงวันสั้น เช่น night jasmine (*Cestrum nocturnum*)

5. พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง (Day-neutral plants หรือ DNPS) คือพืชที่ไม่มีการตอบสนองต่อช่วงแสงทั้งนี้เนื่องจากการออกดอกของพืชพวกนี้ขึ้นอยู่กับอายุของพืช เช่น มะเขือเทศ

การออกดอก (Flowering)

แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะคือ

- ระยะการชักนำให้เกิดดอก (flower induction) เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในส่วนปลายยอด ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดดอก

- ระยะการเกิดดอก (flower initiation) เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างส่วนเจริญของพืชไปเป็น floral primordia

- ระยะที่มีการพัฒนาของดอกต่อไป (further floral development) เป็นระยะที่มีการเจริญต่อจากตาดอกของพืชไปเป็นดอกหรือช่อดอกที่สมบูรณ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการชักนำให้เกิดดอก มีดังต่อไปนี้

1. อายุของพืช พืชส่วนใหญ่จะไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงถ้าหากพืชมีอายุน้อยเกินไปหรืออยู่ในระยะ juvenility ระยะนี้จัดว่าเป็นระยะเริ่มต้นของการเจริญทางต้นและใบ (basic vegetative phase หรือ BVP) แต่เมื่อพืชเจริญต่อไปจนเข้าระยะ photoperiod-induced phase (PIP) หรือระยะที่พืชพร้อมจะออกดอก จะสามารถชักนำให้พืชออกดอกได้ ดังนั้นระยะ BVP ซึ่งจัดเป็นอายุขั้นต่ำสุด (minimum age) ก่อนที่พืชพร้อมจะเข้าสู่ระยะ PIP มีความแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด

2. ช่วงการชักนำของแสง (photoinduction cycles) ความต้องการช่วงการชักนำของแสงแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด มีการพบว่าในบางพืชการชักนำของแสงเพียงช่วงเดียวไม่สามารถทำให้พืชออกดอก เช่น ถั่วเหลืองพันธุ์ "Biloxi" ต้องการการชักนำด้วยแสงถึง 7 ช่วง ทั้งนี้

ขึ้นกับความสามารถการตอบสนองของพืช คือพืชที่มีการตอบสนองน้อยจะต้องการช่วงของการชักนำด้วยแสงมากกว่าพืชที่มีการตอบสนองได้ดี

3. การให้แสงในช่วงมืด (night break) ช่วงมืดนับว่ามีความสำคัญต่อการตอบสนองของพืชต่อช่วงแสง เพราะการให้แสงสีขาวหรือสีแดง (R) ในช่วงมืดสามารถทำลายอิทธิพลของความยาวของกลางคืนได้ จากการทดลองพบว่าแม้ให้แสงที่มีความเข้มต่ำเพียง 2 นาที หรือสั้นเพียง 12 วินาทีที่กึ่งกลางของช่วงมืดสามารถยับยั้งการออกดอกของพืชวันสั้นได้ เช่น cockle-bur และถั่วเหลือง คือให้อิทธิพลเหมือนพืชได้รับช่วงวันยาว

4. คุณภาพของแสง (light quality) การตอบสนองของพืชต่อแสงขึ้นกับพลังงานของแสงด้วย คือ แสงสีแดง (R) และ far-red (FR) คลื่นแสงที่อยู่ในช่วงแสง R คือ 600-680 nm แต่คลื่นแสงของ FR อยู่ในช่วง 720-750 nm และแสง FR สามารถลบล้างอิทธิพลของแสง R ได้ เมื่อให้แสง FR ตามมาภายหลังจากที่พืชได้รับแสง R ดังนั้นจึงมีการแสดงผล โดยใช้หลักเกณฑ์ของ photochrome เมื่อ far-red ทำให้ P_{fr} มีการดูดซับแสงได้มากทำให้มีการสร้าง P_r หรือให้อิทธิพลของความมืด เท่ากับช่วงกลางคืน P_{fr} มีการสลายไป ตรงกันข้ามเมื่อ P_r ได้รับแสง red ทำให้มีการสร้าง P_{fr} ซึ่งมีผลยับยั้งการออกดอกของพืชวันสั้นแต่ส่งเสริมการออกดอกของพืชวันยาว

5. สารกระตุ้นการออกดอก (flowering stimulus) เนื่องจากมีการพบว่า การตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงเป็นผลมาจากการกระตุ้นของสารที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้พืชมีการเปลี่ยนแปลงจากการเจริญทางต้นไปสู่การออกดอกและมีการเรียกสารนี้ว่า florigen ซึ่งมีการเคลื่อนย้ายในส่วนของ phloem

6. สารเคมีที่ทำหน้าที่ส่งเสริมการออกดอก Salisbury (1955) รายงานว่า indoleacetic acid (IAA) ส่งเสริมการออกดอกของพืชวันสั้น

นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญต่อการตอบสนองของพืชต่อช่วงแสง คืออุณหภูมิต่ำที่ 10 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มความยาวของช่วงแสงวิกฤตขึ้นอีก 2-3 ชั่วโมง

การติดผล (fruit set) **และการเจริญของผล** (fruit growth)

ปกติหลังจากที่มีการผสมเกสรเกิดขึ้นแล้วมีผลทำให้เกิดการติดผลและมีการพัฒนาของผลต่อไป แต่ทั้งนี้การติดผลยังมีกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องคือ การเจริญเติบโตของผลอย่างรวดเร็วและการร่วงโรยของดอก (flower senescence) มีสารควบคุมการเจริญเติบโตที่สำคัญ 2 ชนิดคือ 2-chlorethylphosphoric acid(เอทธิฟอน) และ 2,4-Dichloro-phenoxyacetic acid (2,4-D) ซึ่งจะมีหน้าที่เร่งการร่วงโรยของดอกให้เกิดอย่างรวดเร็วขณะที่ผลเจริญขึ้น ดังตัวอย่างที่พบในสตรอเบอรี่ หลังจากที่ดอกมีการผสมเกสรแล้วจะมีการสร้างเอทธิลีน เพิ่มขึ้น 4-5 เท่าของดอกที่ไม่มีการผสมเกสร และปรากฏว่าเอทธิลีน ถูกสร้างขึ้นในส่วนของก้านชูเกสรตัวเมีย (style) และเกสรตัวเมีย (stigma)

ในพืชบางชนิดพบว่ามีการถ่ายละอองเกสรแต่ไม่มีการผสมเกสรทำให้เกิดการเจริญและพัฒนาของผลแบบ parthenocarpic fruit ดังนั้นจึงได้มีการจำแนกการเกิด parthenocarpy ออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. การเจริญและพัฒนาของผลโดยไม่มีการถ่ายละอองเกสร เช่น กล้วย

2. Apomixis คือกระบวนการเจริญและพัฒนาของผลที่เกิดในสภาพที่มีการถ่ายละอองเกสรแต่ไม่มีการผสมเกสร เช่น ส้ม

3. ผลการเจริญและพัฒนาของผลทั้งที่มีการถ่ายละอองเกสรและผสมเกสรแต่ไม่มีการเกิดเมล็ดเนื่องจากการเป็นหมัน (abortion) เช่น องุ่นไม่มีเมล็ดบางพันธุ์

ความล้มเหลวในการติดผล ปกติพบในพืชไร่บางชนิด เช่น ถั่วเหลืองและข้าวสาลี ดังนั้นจึงได้มีการพยายามอธิบายเหตุผลของความล้มเหลวในการติดผลซึ่งพอแบ่งออกได้ 3 ประการ คือ

1. ไม่มีการถ่ายละอองเกสร เช่น ละอองเกสรตัวผู้ของพืชตระกูลหญ้า มักจะเป็นหมันเนื่องจากสภาวะขาดน้ำ

2. ไม่มีการผสมเกสรเนื่องจากความอ่อนแอของละอองเกสรหรือ incompatibility

3. ความเป็นหมันของดอก

บทบาทของฮอร์โมนในการเจริญของผลแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นฮอร์โมนที่ได้จากละอองเกสรคือกรดจิบเบอเรลลิค แต่ในการเจริญช่วงที่ 2 ของผลจะได้รับฮอร์โมนมาจากผล

Nitsh (1951) ได้แบ่งการเจริญของผลออกเป็น 3 ระยะคือ

1. Preanthesis มีการเกิดรังไข่และมีการแบ่งเซลล์

2. Anthesis มีการถ่ายละอองเกสรและการผสมเกสร กระตุ้นให้มีการเจริญของรังไข่

3. Post-fertilization ผลมีการขยายตัวมากขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของเซลล์

ฮอร์โมนพื้นฐานสำหรับการเจริญของผลคือออกซินและกรดจิบเบอเรลลิค มีการพบว่าละอองเกสรของข้าวโพดเป็นแหล่งสำคัญของฮอร์โมนทั้ง 2 ชนิดนี้ ในช่วงที่ผลมีการเจริญเติบโตพบว่ามีความต้องการธาตุอาหารสูงมากและมีการเคลื่อนย้ายจากส่วนของต้นและใบไปยังส่วนของผลและเมล็ด แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซี่ยม ในต้นและใบข้าวโพดลดลงหลังจากมีการออกไหม และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มมีการติดเมล็ด และมีการเคลื่อนย้ายจากฝักส่งไปเลี้ยงเมล็ดด้วย

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและอินทรียสาร

หมายถึง สารอินทรีย์ที่ไม่จำกัดว่าจะสร้างขึ้นภายในต้นพืชหรือมนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมาโดยกระบวนการทางเคมี และเมื่อใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็จะไปมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ดังนั้นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจึงรวมไปถึงฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์ต่างๆ ที่มนุษย์คิดค้นขึ้นมา ปกติสารที่เรานำมาใช้มักเป็นสารสังเคราะห์ ไม่ได้นำฮอร์โมนพืชมาใช้โดยตรงเพราะการที่จะสกัดสารฮอร์โมนพืชออกมานั้นทำได้ยากและต้นทุนสูง มีสารหลายชนิดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการออกดอก แต่สารนั้นอาจไม่นับเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชก็ได้ เมื่อพิจารณาถึงคำจำกัดความของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ดังนี้

- ต้องเป็นสารอินทรีย์ ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นหลัก ดังนั้นปุ๋ยชนิดต่างๆ สารโปแตสเซียมไนเตรทที่ใช้เร่งการออกดอกของมะม่วง ก็ไม่นับว่าเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

- ต้องไม่ใช่สารอาหาร หรือธาตุอาหารพืช เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน ฯลฯ

- ใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ก็สามารถแสดงผลต่อพืชได้

กลไกที่ฮอร์โมนพืช ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช มี 2 ประการ

1. ฮอร์โมนพืชเกี่ยวข้องกับการทำงานของสารพันธุกรรม โดยไปมีอิทธิพล หรือไปกำหนดให้สารพันธุกรรมสร้างสารบางชนิด เช่น เอนไซม์ เพื่อควบคุมกระบวนการต่างๆ อีกต่อหนึ่ง

2. ฮอร์โมนพืชไปมีผลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ของเซลล์ ทำให้สารและสารละลายต่างๆเคลื่อนย้ายผ่านผนังเซลล์ได้ง่าย ทำให้พืชตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว

ฮอร์โมนพืชมีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช และมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อมภายนอก ปัจจัยภายนอกมักมีผลชักนำ โดยก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการกระจายตัวและการสลายตัวของฮอร์โมนในต้นพืช และยังเป็นตัวหลักในการควบคุมการแสดงออกของความสามารถทางพันธุกรรมที่แท้จริงของพืช ฮอร์โมนพืชที่เป็นที่รู้จักกันดี และมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางนั้นมีอยู่ 5 กลุ่ม ได้แก่

1. ออกซิน
2. จิบเบอเรลลิน
3. ไซโตไคนิน
4. เอทธิลีน และสารปลดปล่อยเอทธิลีน
5. สารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช

ในการทำวิจัยในครั้งนี้ได้มีการนำสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมาใช้ 3 กลุ่ม คือ ไซโตไคนิน (ไคเนติน), จิบเบอเรลลิน (GA_3) และเอทธิลีน (เอทธิฟอน)

ไซโตไคนิน (Cytokinins)

เป็นสารประกอบ substituted adenine ที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ซึ่งคำว่า Cytokinins ก็ตั้งขึ้นมาตามคุณสมบัติในข้อนี้ ไซโตไคนินพบได้ในพืชชั้นสูง มอส รา แบคทีเรีย และใน tRNA ของจุลินทรีย์และเซลล์สัตว์จำนวนมาก ปัจจุบันพบว่ามีไซโตไคนินมากกว่า 200 ชนิด ทั้งที่เป็นสารธรรมชาติและสารสังเคราะห์

ผลของไซโตไคนินที่มีต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช

1. การพัฒนาของตาและยอด (Bud and Shoot Development) : ไซโตไคนินส่งเสริมการแตกตาข้าง และแก้การข่มของตายอด (apical dominance) บางส่วน การศึกษาในพืชตัดแต่งยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไซโตไคนิน พบว่าจะทำให้ปริมาณ zeatin และสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นหลายสิบเท่าตัว ทำให้ต้นพืชมีการเจริญเติบโตของตาข้างมาก และไม่เกิดการข่มของตายอด การข่มของตายอดถูกควบคุมโดย สมดุลระหว่างระดับของไซโตไคนินและ IAA ภายในพืช มีสองทฤษฎีที่กล่าวถึงเกี่ยวกับความเกี่ยวข้องของไซโตไคนินกับการข่มของตายอดโดยทฤษฎีแรกเสนอว่า ไซโตไคนินอาจยับยั้ง IAA oxidase ในตาข้าง ทำให้มีออกซินในระดับที่ทำให้ตาข้างยืดยาวออก ส่วนทฤษฎีที่สองเสนอว่า ไซโตไคนินอาจทำให้เกิดกลไกของการใช้สารอาหาร (initiate sink mechanism) ที่ตาข้างและส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ และสารควบคุมการเจริญเติบโตอื่นๆ (ซึ่งทั้งหมดนั้นอาจเป็นตัวที่จำกัดการเจริญเติบโต)

2. การแบ่งเซลล์และการสร้างอวัยวะ (Cell division and organ formation): หน้าที่หลักของไซโตไคนินในพืชคือส่งเสริมการแบ่งเซลล์ มีรายงานว่าการเจริญเติบโตของแคลลัสจากส่วน pith ของลำต้นยาสูบจะตอบสนองต่อไคเนตินหรือ IAA อย่างเดียว แต่ถ้าจะให้การเจริญเติบโตเกิดต่อเนื่องจะต้องให้ทั้งไคเนตินและ IAA ในอาหาร อธิบายได้ว่าในระยะแรก IAA หรือไซโตไคนินที่มีอยู่ภายในพืชอาจทำปฏิกิริยากับไซโตไคนินหรือ IAA ที่ให้ทางอาหารเลี้ยง แต่เมื่อเวลานานขึ้นระดับของฮอร์โมนภายในลดลง การเจริญเติบโตก็จะหยุด การจัดการให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสมของ IAA และไซโตไคนิน จะทำให้ได้แคลลัสที่มีทั้งรากและ/หรือต้น

3. การงอกของเมล็ด และการขยายขนาดของเซลล์และอวัยวะ (Seed Germination, Cell and Organ Enlargement) : ไคเนตินสามารถแก้ผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม ที่เกิดจากแสงฟาร์เรดได้ โดยทั่วไปไซโตไคนินถูกจัดเป็นสารตัวกระตุ้นการแบ่งเซลล์ แต่มันก็มีผลต่อการขยายขนาดของเซลล์ด้วย ไซโตไคนินส่งเสริมการขยายขนาดของเซลล์ของใบเลี้ยงที่ตัดออกมา (excised cotyledon) ในพืชใบกว้างหลายชนิด เมื่อเด็ดใบเลี้ยงออกจากต้นพืชก็จะขาดจากแหล่งไซโตไคนินตามธรรมชาติ แต่เมื่อให้ไซโตไคนินจากภายนอก จะไปส่งเสริมการขยายตัวของเซลล์ของใบเลี้ยงนั้นได้ การใหญ่ขึ้นของเซลล์เกี่ยวข้องกับการดูดน้ำ ซึ่งเกิดจากการลดค่าศักย์ออสโมซิส (osmotic potential) ของเซลล์ ที่กระตุ้นโดยการเกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมัน (lipid) ซึ่งเป็นอาหารสะสมในใบเลี้ยง ไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar:- glucose, fructose)

4. การชะลอการเสื่อมตามอายุ และการส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอาหาร (Delay of senescence and promotion of translocation of nutrients and organic substances): เมื่อเด็ดใบที่โตเต็มที่ออกจากต้น ก็จะเกิดการแตกตัวของโปรตีนอย่างรวดเร็ว คลอโรพลาสต์สลายตัว ทำให้สูญเสียคลอโรฟิลล์ และเกิดการไหลออกไปของไนโตรเจนที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโปรตีน (non-protein nitrogen) ไขมัน กรดนิวคลีอิค โดยผ่านทางรอยแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ ถ้าชักนำให้ใบนั้นสร้างรากขึ้นมา ก็จะทำให้การเสื่อมตามอายุนั้นเกิดช้าลง และพบว่าการให้ไซโตไคนินก็จะชะลอการเสื่อมตามอายุได้โดยไม่ต้องชักนำการเกิดราก ในสภาพความมืดก็จะเกิดการเร่งการเสื่อมตามอายุอย่างมาก การให้ไซโตไคนินสามารถทดแทนผลของแสงต่อการชะลอการเสื่อมตามอายุได้ ซึ่งอาจเกิดจากการรักษาสภาพ integrity of tonoplast membrane เมื่อให้ไซโตไคนินแก่ใบหรือใบเลี้ยงของพืชที่ปลูกในที่มืด 2-3 ชม. ก่อนที่จะให้ได้รับแสง พบว่า อีทิโอพลาสต์ (etioplast) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นคลอโรพลาสต์ ทำให้มีการสร้างคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ไซโตไคนินยังสามารถชะลอการเสื่อมตามอายุในดอกไม้ (cut flower) และผักสด นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าไคเนตินสามารถส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์ในใบพืชที่ถูกตัดออกมา ที่อยู่ในที่มืดได้ และพบว่าเมื่อพ่นไซโตไคนินให้แก่ใบใบหนึ่ง ใบที่อยู่ใกล้เคียงก็จะเกิดการชราภาพ นอกจากนั้นการให้ไซโตไคนินแก่ใบที่เริ่มเหลืองแล้วจะทำให้ใบกลับเขียวเพราะมีการสร้างคลอโรฟิลล์ขึ้นมาอีก

การนำไซโตไคนินมาใช้ทางการเกษตร

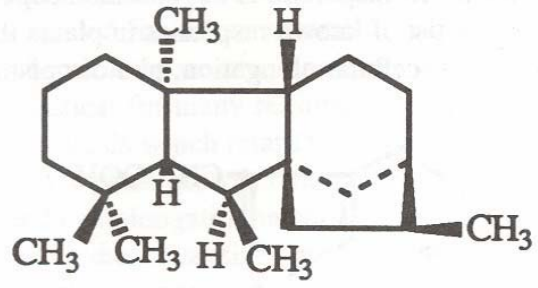
- ใช้ในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
- ใช้ควบคุมทรงพุ่มของต้นไม้ กระตุ้นการเกิดกิ่งแขนง
- กระตุ้นการเจริญของตา ในการขยายพันธุ์โดยการติดตา
- ใช้ชะลอการแก่ของผลผลิต ช่วยรักษาพืชผักให้สดอยู่ได้นานกว่าปกติ และยืดอายุดอกไม้

จิบเบอเรลลิน (Gibberellins)

เป็นสารพวก isoprenoid ที่มีโครงสร้างหลักเป็น ent-gibberellane (ภาพที่ 2.1) สามารถกระตุ้นการแบ่งตัวและการยืดตัวของเซลล์ได้ มักเรียกว่า กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid ,GA) เพราะมีหมู่ คาร์บอกซิล อยู่ในโครงสร้าง ปัจจุบันพบว่ามีมากกว่า 90 ชนิด พบทั้งในเชื้อราและในพืชชั้นสูง จิบเบอเรลลินแต่ละชนิดแตกต่างกันที่ตำแหน่งของ double bondและหมู่ hydroxyl (OH)

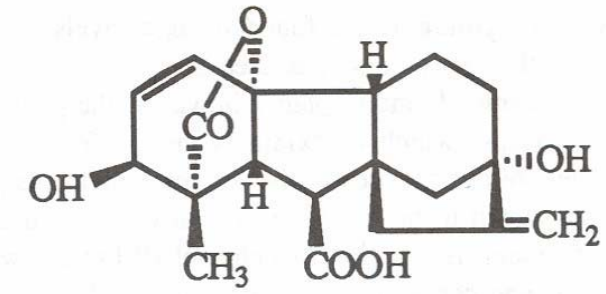
ภาพที่ 2.1

สูตรโครงสร้าง gibberellane



ภาพที่ 2.2

สูตรโครงสร้าง GA_3



ผลของจิบเบอเรลลินที่มีต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช

1. ผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช (intact plant): มีรายงานจำนวนมากระบุว่าจิบเบอเรลลินส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น จิบเบอเรลลินทั้งกว่า 90 ชนิดที่รู้จักกันนั้นสามารถส่งเสริมการยืดยาวของลำต้น หรือการแบ่งเซลล์ หรือทั้งสองอย่าง แต่จะมีความแตกต่างกันมากในระหว่างชนิดของจิบเบอเรลลิน ความแตกต่างกันในการตอบสนองของพืชต่อสารเคมีนั้นขึ้นกับหลายปัจจัยและก็ไม่ใช่เรื่องผิดปกติที่จิบเบอเรลลินชนิดหนึ่งๆจะมีผลมากกว่าจิบเบอเรลลินอื่นๆในระบบของพืชชนิดหนึ่งๆ โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของพืชจะถูกส่งเสริมโดยจิบเบอเรลลิน โดยเฉพาะพืชแคระ และพืชที่มีอายุสองปี (biennials) ที่อยู่ในระยะ rosette โดยทั่วไปการกระตุ้นการเจริญเติบโตของจิบเบอเรลลินในต้นพืช จะได้ผลดีกว่าในส่วนของพืชที่ตัดออกมา ซึ่งแตกต่างจากในออกซินมาก

2. พันธุกรรมต้นเตี้ย (Genetic dwarfism): มีการพัฒนาของพืชกลายพันธุ์จำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน เช่นพวกกลายพันธุ์แบบยีนเดี่ยว (single gene mutant) โดยต้นพืชจะมีขนาดประมาณเศษหนึ่งส่วนห้าของต้นปกติ และมีปล้องสั้น เมื่อให้จิบเบอเรลลินแก่พืชเหล่านี้ ก็จะเกิดการเพิ่มขนาดเท่ากับต้นปกติ แต่ก็มีพวกกลายพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน (gibberellin sensitivity mutants) ซึ่งจะไม่ตอบสนองต่อการ

ให้จิบเบอเรลลินจากภายนอก และมันมีระดับของจิบเบอเรลลินที่เท่ากับต้นปกติแต่ก็ยังคงเป็นต้นเตี้ย พบว่าลักษณะนี้อาจเกิดจากการที่มันมีสารตัวยับยั้งตามธรรมชาติ (natural inhibitors) มากเกินไป หรืออาจจะเป็น receptor mutant ซึ่งจะป้องกันการเจริญเติบโตของตัวเองในการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน

3. การตั้งท้องและการออกดอก (Bolting and Flowering): จิบเบอเรลลินเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการออกดอกของพืชชั้นสูงจำนวนมาก ในพืชพวก rosette plant ใบจะพัฒนาอย่างมาก แต่การยืดตัวของข้อถูกยับยั้ง แต่เมื่อจะถึงระยะสืบพันธุ์ลำต้นจะยืดตัวอย่างมาก 5-6 เท่าของปกติ พืชที่มีลักษณะการเจริญแบบ rosette ต้องการสภาพกลางวันยาวและความเย็นก่อนการออกดอก ถ้าให้จิบเบอเรลลินแก่ rosette plant ในสภาพที่ไม่มีสิ่งกระตุ้นต่อการออกดอกมันก็จะเกิดการกระตุ้นการตั้งท้องและการออกดอก ความเกี่ยวข้องของจิบเบอเรลลินในการส่งเสริมการออกดอกเกิดภายใต้สภาพควบคุมบางอย่าง มีรายงานว่าการใช้จิบเบอเรลลินระดับต่ำจะชักนำให้เกิดการตั้งท้องโดยไม่เกิดการออกดอก สิ่งนี้ทำให้บางคนเชื่อว่าจิบเบอเรลลินมีผลทางอ้อมต่อการออกดอก ยังพบว่าจิบเบอเรลลินเกี่ยวข้องกับการออกดอกของพืชจำนวนมากไม่เฉพาะในการเกิดการตั้งท้องยังรวมไปถึงการกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ โดยทั่วไปจิบเบอเรลลินส่งเสริมการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ที่บริเวณถัดจากปลายยอดของพืชลงมา สารชะลอการเจริญเติบโตของพืชซึ่งขัดขวางการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ในบริเวณถัดจากเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด และชักนำการขยายตัวด้านข้างของปลายยอด

4. การเคลื่อนย้ายอาหารสะสม, ผลต่อการงอกและการพักตัวของเมล็ด (Mobilization of storage compounds, effect on seed germinatiuon and dormancy): จากการศึกษาของ Yomo (1960) และ Paleg (1960) พบว่าจิบเบอเรลลินกระตุ้น α-amylase และเอ็นไซม์ไฮดรอไลซิสตัวอื่นๆ ทำให้เกิดการส่งเสริมการเกิดไฮดรอไลซิสของอาหารสะสม ต่อมาพบว่าชั้นแอลิวโรนเป็นตัวสร้าง α-amylase ในทางตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน และเอนไซม์ที่เกิดขึ้นนั้นจะเข้าสู่เอนโดสเปอร์ม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล จิบเบอเรลลินอาจส่งเสริมการเจริญเติบโตโดยการไปเพิ่ม plasticity ของผนังเซลล์และตามด้วยการไฮดรอไลซิสแป้งไปเป็นน้ำตาล ซึ่งจะไปลดค่าซลศักย์ของเซลล์ ทำให้น้ำเข้าในเซลล์มากขึ้น และเซลล์ยืดยาวออก

พบว่า α-amylase สร้างขึ้นมาในทางตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน ขั้นตอนมีดังนี้ เอมบริโอสร้างจิบเบอเรลลินแล้วส่งไปยังชั้นแอลิวโรน แล้วชั้นแอลิวโรนก็จะสร้าง α-amylase ขึ้นมาแล้วส่งเข้าไปเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล

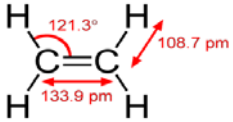
5. บางครั้งเมล็ดพืชบางชนิดจะไม่งอก ถึงแม้ว่าจะได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการงอกก็ตาม เมล็ดเหล่านั้นอยู่ในระยะพักตัวซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ การแก้การพักตัวทำได้หลายวิธี ทั้งทางเคมีและกายภาพ เมล็ดพืชบางชนิดต้องผ่านความหนาวเย็นช่วงระยะเวลาหนึ่งเป็นการแก้การพักตัว การให้จิบเบอเรลลินแก่เมล็ดพืชเหล่านั้น สามารถทำให้เมล็ดงอกเป็นปกติโดยไม่ต้องผ่านความเย็น นอกจากนั้นยังมีการใช้ จิบเบอเรลลินในการเปลี่ยนเพศดอก (พืชตระกูลแตง) กระตุ้นการเกิดดอกตัวผู้ เร่งและยับยั้งการเกิดดอกในพืชบางชนิด กระตุ้นการงอกของเมล็ดและตา และเพิ่มขนาดของผล

เอทธิลีน (Ethylene)

เอทธิลีน (C_2H_4, $H_2C = CH_2$) เป็นฮอร์โมนพืชตัวเดียวที่อยู่ในรูปแก๊ส สมัยก่อนไม่จัดว่าเป็นฮอร์โมน แต่เป็นสารที่เกิดจากการที่พืชถูกจุลินทรีย์เข้าทำลาย หรือจากการผิดปกติของพืชผล อาจเป็นเพราะเอทธิลีนมักเกิดขึ้นในสภาพที่พืชผลมีลักษณะเสียหาย เช่นผลไม้ที่ถูกแมลงเจาะ เน่าเสีย หรือผลไม้ที่สุกงอม ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันแล้วว่า เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาต่างๆ เช่นการออกดอก การสุกของผล เอทธิลีนเป็นแก๊สที่พบในธรรมชาติ และในควันไฟ ซึ่งได้มีการสังเกตพบว่า เอทธิลีนมีผลต่อการเหลืองและการร่วงของใบพืช และการสุกของผลไม้

ภาพที่ 2.3

โครงสร้างของเอทธิลีน



ผลของเอทธิลีนต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช

1. การสุกของผลไม้ (fruit ripening): ชาวอียิปต์โบราณ ใช้ประโยชน์โดยบังเอิญจากการที่มีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเกิดบาดแผล โดยการตัดผลมะเดื่อ (sycamore fig) ที่ยังไม่สุกมาเพื่อกระตุ้นให้สุก ผลไม้ที่มีเนื้อ (Fleshy fruits) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) Non-climacteric fruit: มี 2 กลุ่มย่อย

- พวกที่มีอัตราการหายใจสม่ำเสมอในระยะสุกเช่น ส้ม มะนาว มะเดื่อ
- พวกที่มีอัตราการหายใจลดลงตลอดในระยะสุก เช่น พริกไทย

2) Respiratory climacteric fruits: เป็นผลที่เมื่อมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (สะสมอาหารเต็มที่แล้ว) อัตราการหายใจจะลดลง อาจเป็นเพราะเซลล์แก่ตัว กระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ลดลง แต่เมื่อผลไม้ใกล้สุก อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันเมื่อผลไม้สุก การหายใจที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วนี้ เรียกว่า climacteric rise ตัวอย่างเช่น กล้วย มะม่วง ท้อ แอปเปิล เป็นต้น

เอทธิลีนมีบทบาทที่สำคัญในการสุกของ chimacteric fruit ซึ่งหมายถึงผลไม้ซึ่งการสุกจะตอบสนองต่อเอทธิลีน เอทธิลีนปริมาณน้อยมากเพียง 0.1-1 ไมโครลิตรต่อลิตร สามารถกระตุ้นการสุกของผล ในขณะที่พวก non-climacteric fruit สร้างเอทธิลีนน้อยมาก และไม่ได้ชักนำให้เกิดการสุก คำว่า climacteric นั้น แรกเริ่มใช้เพื่อแสดงถึงการเพิ่มการหายใจของผล แต่ปัจจุบันได้รวมถึงการสร้างเอทธิลีนด้วย การสร้างเอทธิลีนจะลดลงอย่างมากในต้นมะเขือเทศที่ตัดแต่งยีน (transgenic tomato plants) โดยการแสดงออกของ antisense gene ที่สังเคราะห์ ACC oxidase หรือ ACC synthase และโดย sense gene ที่สร้าง ACC deaminase ซึ่งทำให้การสุกของผลช้าลง จากการศึกษาในพืชตัดต่อยีน แสดงให้เห็นว่าระดับของเอทธิลีนที่ลดลงจะมีความสัมพันธ์กับความล่าช้าของการสุกของผล เร็วๆนี้ได้มีการแยกบริสุทธิ์เอนไซม์ ACC NMTase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยน ACC ไปเป็น MACC ซึ่งเป็นสารเฉื่อย ทำให้มีการศึกษาถึงยีนที่สร้างเอนไซม์ ACC NMTase เพื่อถ่ายให้แก่พืชในการทำให้ผลสุกช้าลง เช่นเดียวกับกรณีของ deaminase gene

2. การเจริญเติบโตของต้นกล้า (seedling growth): ผลประการแรกของเอทธิลีน ได้แสดงให้เห็นในต้นกล้าถั่วที่งอกในที่มืด (etiolated pea seedling) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการ

ตอบสนองสามประการ (triple response) คือเอทธิลีนยับยั้งการยืดตัวและส่งเสริมการขยายตัวทางด้านข้างและทางแนวนอน (horizontal growth) ปัจจุบันรู้กันว่าเอทธิลีนสามารถยับยั้งและส่งเสริมการยืดตัวของลำต้น ราก และอื่นๆ การยับยั้งการยืดตัวนั้นพบว่าเกิดอย่างรวดเร็วและกลับคืนได้ (reversible) เอทธิลีนยังส่งเสริมการยืดตัวของลำต้นและราก แต่เกิดขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าการตอบสนองในทางยับยั้ง ซึ่งอาจจะเป็นผลในทางอ้อมมากกว่าการตอบสนองที่ถูกกระตุ้น เอทธิลีนทำหน้าที่เป็นกลไกเพื่อความอยู่รอด(survival mechanism) ของต้นกล้าได้ ตัวอย่าง เช่น เมื่อต้นกล้าถั่วงอกแทงผ่านสิ่งกีดขวาง เช่นชั้นดินที่แน่นแข็ง หินหรือของบางอย่างซึ่งขัดขวางการโผล่ขึ้นของต้นกล้า จะเกิดการตอบสนอง โดยมีการสร้างเอทธิลีนขึ้นมากในบริเวณใกล้ปลายยอดของต้นกล้า และใช้ส่วนโค้งงอที่มีลักษณะเป็นตะขอที่แน่น (tighly hooked ใน pea และ bean) ตะขอนั้นดันผ่านสิ่งกีดขวางในดินได้โดยไม่เกิดการเสียหายต่อจุดเจริญที่ปลายยอด เมื่อต้นกล้าโผล่พ้นดินและได้รับแสงสีแดง การสร้างเอทธิลีนก็จะลดน้อยลง ส่วนของตะขอก็จะคลายตัวออก ปลายยอดก็จะยืดตัวตั้งตรงตามปกติ ปรากฏการณ์นี้เป็นกลไกความปลอดภัย เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนของตะขอนั้นคลายตัวออกก่อนและป้องกันความเสียหายต่อต้นกล้าก่อนที่จะโผล่พ้นดิน

3. การหลุดร่วง (Abscission): เป็นการแยกตัวของอวัยวะหรือส่วนของพืชออกไปจากต้นแม่ กระบวนการนี้สำคัญมากในทางการเกษตร เนื่องจาก การหลุดร่วงและไม่หลุดร่วงของผล ดอก และใบ จะเกี่ยวข้องกับผลผลิตและประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยว คาดว่าเอทธิลีนมีหน้าที่โดยธรรมชาติในการควบคุมอัตราการหลุดร่วง มีเหตุผล 3 ประการที่สนับสนุนบทบาทของเอทธิลีนต่อการหลุดร่วง

1) มีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้นก่อนที่จะร่วงในอวัยวะของพืชที่กำลังจะหลุดร่วงหลายชนิด

2) การทดลองให้เอทธิลีนหรือสารปลดปล่อยเอทธิลีนแก่พืชหลายชนิด พบว่าจะเกิดการกระตุ้นการหลุดร่วง

3) สารยับยั้งการสังเคราะห์เอทธิลีน หรือสารยับยั้งการทำงานของเอทธิลีน จะยับยั้งการเกิดการหลุดร่วง

4. การออกดอก (flowering): มีรายงานในระยะแรกๆว่าควันไฟเร่งการออกดอกในสับปะรดและมะม่วง ต่อมาพบว่าในควันไฟมีเอทธิลีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่เร่งการออกดอก

ส่วนใหญ่แล้วเอทธิลีนจะยับยั้งการออกดอก แต่ก็มีในพืชบางชนิดที่เอทธิลีนกระตุ้นการออกดอก ได้แก่ สับปะรด มะม่วง ลิ้นจี่

5. การเสื่อมตามอายุ (Senescence): เป็นการล้มเหลวของปฏิกิริยาที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์สารต่างๆและส่งผลให้เซลล์ตาย และเป็นช่วงของการเจริญเติบโตของพืชถัดจากการแก่เต็มที่ (full maturity) ไปจนถึงพืชตาย เห็นได้โดยเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ หรือ RNA และปัจจัยอื่นๆ

จากการศึกษาในใบและดอกพบว่า การให้เอทธิลีนจากภายนอกจะเพิ่มกระบวนการเสื่อมตามอายุ และพบว่ามีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการเร่งอายุ (aging) แต่ก็ไม่ใช่ว่าเฉพาะแต่เอทธิลีนเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมตามอายุ มีรายงานว่าใบของ *Arabidopsis* พวกผ่าเหล่าที่ไม่ตอบสนองต่อเอทธิลีน (ethylene insensitive) ก็เกิดการเสื่อมตามอายุแต่เกิดในอัตราที่ช้ากว่าในต้นปกติ ซึ่งแสดงว่าไม่ใช่มีเฉพาะเอทธิลีนเท่านั้น ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง นอกจากนั้นยังพบว่ามีพืชบางชนิดที่ไม่มีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้นก่อนการเกิดการเสื่อมตามอายุ ในกรณีเหล่านี้อาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากการเพิ่มขึ้นของการตอบสนองต่อเอทธิลีน (increase insensitivity to ethylene) มากกว่าที่จะเกิดจากการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้น

การนำมาใช้ทางการเกษตร

1. ใช้บ่มผลไม้ให้สุก: ต้องใช้ห้อง หรือตู้ที่ปิดมิดชิด เกษตรกรในเมืองไทยใช้ถ่านแก๊ส (calcium carbide) ห่อกระดาษแล้ววางไว้ในกองผลไม้ก่อนคลุมด้วยผ้าพลาสติก เมื่อความชื้นจากผลไม้ระเหยออกมาสัมผัสกับถ่านแก๊ส ก็จะทำปฏิกริยาเกิดเป็นแก๊ส acetylene ซึ่งสามารถเร่งให้ผลไม้สุกได้เช่นเดียวกันกับเอทธิลีน

2. เร่งการออกดอกในสับปะรด

3. ทำลายการพักตัวของไม้หัว มันฝรั่ง

4. ใช้ลดความเหนียวของขั้วผลในไม้ผลบางชนิด ทำให้เก็บเกี่ยวได้ง่าย

น้ำตาล

น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนที่ให้พลังงานแก่พืช แหล่งคาร์บอนที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ ซูโครส (sucrose) ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่พืชสังเคราะห์ได้เอง และ มีความจำเป็นอย่างมากต่อเนื้อเยื่อพืชเกือบทุกชนิด การเตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนิยมใช้น้ำตาลทราย (sucrose) เพราะหลังจากนึ่งฆ่าเชื้อแล้วจะสลายตัวเป็น glucose และ fructose โดยความเข้มข้นของน้ำตาลมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช Yate and Curtis, (1949) ทดลองเพาะเลี้ยงต้นอ่อนของกล้วยไม้ พบว่าถ้าใช้ซูโครสในความเข้มข้นสูงในอาหารวุ้น มีผลทำให้การเจริญเติบโตในส่วนรากเพิ่มขึ้น ในขณะที่เจริญเติบโตในส่วนยอดลดลง ความเข้มข้นที่มีผลต่อการเจริญของราก คือ 0.1-0.15 โมลาร์ โดยปริมาณน้ำตาลที่นิยมใช้ในสูตรอาหารต่างๆ คือ 20 กรัมต่อลิตร (จิตราพรรณ, 2540) นอกจากนี้การเติมน้ำตาลลงไปในอาหารทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น (ศิริลักษณ์, 2542 อ้างอิงจาก Desjardins, 1955) พบว่าน้ำตาลมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนกล้วยไม้ *Dendrobium* Jaquelyn Concert โดยมีผลต่อน้ำหนักแห้งและการเกิดรากของต้นอ่อน เมื่อไม่ใส่น้ำตาลซูโครสหรือใส่เพียง 5 กรัมต่อลิตร น้ำหนักแห้งของต้นอ่อนลดลงเล็กน้อยมาก เมื่อใส่น้ำตาลเพิ่มเป็น 20 กรัมต่อลิตร ส่งผลทำให้มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มเป็น 25 กรัมต่อลิตรมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของต้นอ่อนลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้ ซูโครสความเข้มข้น 2.5-10.0 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเจริญและพัฒนาของโปรโตคอร์ม ของกล้วยไม้สกุล Cymbidium แต่ถ้าใช้ซูโครสต่ำกว่าปกติจะสามารถพัฒนาเป็นต้นได้ จิตราพรรณ (2540) ทดลองถ่ายขวดของต้นอ่อน *Dendrobium taurianum* โดยใช้สูตรวุ้นอาหารที่ดัดแปลงจากสูตรของ Vacin and Went ที่มีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสจาก 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ2.5 เปอร์เซ็นต์ กับการเพิ่มกล้วยสุก ห่าม ดิบ และไม่ใส่กล้วยลงในสูตรวุ้นอาหารหลังการทดลอง 5 เดือน พบว่าสูตรที่ใส่น้ำตาลซูโครส 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกล้วยสุก ต้นอ่อนมีการเจริญเติบโตดีทั้งส่วนยอดและราก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วงจรชีวิตของพืชเริ่มต้นจากการงอกของเมล็ด จากนั้นส่วนของลำต้นและรากจะมีการเจริญเติบโต เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ พืชจะสร้างอวัยวะในการสืบพันธุ์ของเพศเมียและเพศผู้ ต่อจากนั้นจะมีการสืบพันธุ์ระหว่างเพศเมียและเพศผู้เกิดขึ้น และวงจรชีวิตของพืชจะสิ้นสุดในขั้นตอนของการพัฒนาเป็นเมล็ดในรุ่นต่อไป (Kachonpadunkkitti et al., 2001)

ภัญชนา มีแก้วกุญชร (2537 น. 79) ได้ศึกษาถึงการใช้แนฟทาลีนอาซิติคแอซิด (NAA) เอทธิฟอนและกรดจิบเบอเรลลิค (GA_3) เพื่อเพิ่มดอกเพศเมียในแตงกวา พบว่าการใช้ NAA, เอทธิฟอน และ GA_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถเพิ่มดอกเพศเมียในแตงกวา โดยการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) 16 ทรีทเม้นต์: NAA 50, 100, 150, 200 และ250 ppm เอทธิฟอน 50, 100, 150, 200 และ250 ppm GA_3 50, 100, 150, 200 และ250 ppm และน้ำกลั่นเป็น control โดยฉีดพ่นสารต่างๆ เมื่อแตงกวาอยู่ในระยะต้นกล้า ซึ่งเพาะในกระถางขนาด 12 นิ้ว กระถางละ 1-2 ต้น มีใบจริง 2-3 ใบ ฉีดพ่น 3 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 1 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า GA_3 200 และ 250 ppm ให้ดอกเพศผู้ในข้อที่ต่ำสุดคือข้อที่ 2.25 เอทธิฟอน 200 ppm ให้ดอกเพศผู้ในข้อที่สูงสุดคือข้อที่ 11.73 ส่วนในcontrol และ GA_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ข้อที่ต่ำสุดที่ดอกเพศเมียดอกแรกบานคือ NAA 250 ppm ที่ข้อที่ 8 และ GA_3 150 ppm มีจำนวนข้อมากที่สุด 34 ข้อ control มีดอกเพศผู้บานเร็วที่สุดที่ 26.75 วัน และ NAA 250 ppm ดอกเพศผู้บานช้าที่สุดที่ 45.25 วัน เอทธิฟอน 50 ppm ให้ดอกเพศเมียบานเร็วที่สุดที่ 35.25 วัน และ GA_3 150 ppm ดอกเพศเมียบานช้าที่สุดที่ 56.5 วัน control ให้ดอกเพศผู้มากที่สุด 310.75 ดอก เอทธิฟอน 200 ppm ให้น้อยที่สุด 10.75 ดอก เอทธิฟอน 250 ppm ให้ดอกเพศเมียสูงสุด 11 ดอก และ GA_3 150 ppm ให้ดอกเพศเมียน้อยที่สุด 0.25 ดอก วิธีการที่ให้ผลผลิตสูงสุดคือ เอทธิฟอน 100 ppm 185 กรัม และ GA_3 200 ppm ให้ผลผลิตน้อยที่สุด 25 กรัม ผลผลิตทุกวิธีการไม่แตกต่างกันทางสถิติ

วีระศักดิ์ และ ชนิดา (2536, น. 237) ได้ศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการเกิดเพศของแตงกวา พบว่าสารควบคุมการเจริญเติบโต 3 ชนิดคือ NAA (1-naphthylacetic acid) GA_3 (gibberellic acid) และ ethrel (2-chloroethyl-phosphonic

acid) มีผลต่อการเกิดเพศของแตงกวา โดยทำการทดลองแบบ RCB มี 4 ซ้ำ 13 ทรีทเม้นต์ ได้แก่ NAA 25, 50, 100, 150 ppm, GA_3 25, 50, 100, 150 ppm, ethrel 25, 50, 100, 150 ppm และน้ำกลั่นเป็น control โดยนำเมล็ดแตงกวาไปแช่ในสารทั้ง 3 ชนิด ตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้และน้ำกลั่น ใช้เวลาแช่ 24 ชั่วโมง นำเมล็ดแตงกวาทุกทรีทเม้นต์เพาะในกระถางขนาด 12 นิ้ว ผลปรากฏว่า ข้ออายุน้อยที่สุดที่พบดอกเพศผู้ดอกแรกคือ NAA 25 ppm ที่ข้อที่ 3.13 รองลงไปคือ NAA 100 ppm และ ethrel 50 ppm ที่ข้อที่ 3.25 ข้ออายุน้อยที่สุดที่พบดอกเพศเมียดอกแรกคือ ethrel 25 ppm ที่ข้อที่ 3.38 รองลงไปคือ GA_3 150 ppm ที่ข้อที่ 4.00 จำนวนดอกเพศผู้สูงสุดคือ GA_3 100 ppm 69.71 ดอก รองลงไปคือ ethrel 50 ppm 68.04 ดอก จำนวนดอกเพศเมียสูงสุดคือ GA_3 50 ppm 4.63 ดอก รองลงไปคือ GA_3 150 ppm 4.13 ดอก อัตราส่วนดอกเพศผู้ต่อเพศเมียต่ำสุดคือ ethrel 25 ppm เท่ากับ 40.24 รองลงไปคือ ethrel 150 ppm เท่ากับ45.73 จำนวนผลผลิตสูงสุดคือ GA_3 50 ppm ได้ 4.63 ผล รองลงไปคือ GA_3 150 ppm ได้ 4.13 ผล น้ำหนักผลผลิตสูงสุดคือ ethrel 50 ppm เท่ากับ 277.38 กรัม รองลงไปคือ GA_3 150 ppm เท่ากับ 263.63 กรัม

อาคม และ ภูวดล (2547, น.339-345) ได้ศึกษาผลของสารเคมีชักนำดอกที่มีต่อการออกดอกและคุณภาพผลผลิตของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต [Ananas comosus (L.) c.v. Phuket] พบว่าการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารชักนำดอก 3 ชนิด และจำนวนครั้งที่ใช้สาร 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง ที่มีต่อการออกดอกและคุณภาพผลผลิตของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต โดยใช้สารแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) 1 กรัม/ต้น สารเอทธิฟอน (เอทธิฟอน) 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมยูเรีย 1.5 เปอร์เซ็นต์ 60 มิลลิกรัมต่อต้น และสาร NAA 0.5 มิลลิกรัมต่อต้น (NAA 1 เม็ด/ต้น) ด้วยวิธีหยอดสารบนยอดสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตอายุ 9 เดือน ที่ปลูกด้วยหน่อดิน วางแผนการทดลองแบบเชิงตัวประกอบ (factorial design) โดยสุ่มในบล็อก มี 2 ปัจจัย จำนวน 3 ซ้ำ ทำการทดลองในแปลงสับปะรดอำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2543 ถึงเดือนกันยายน 2544 พบว่า สารเอทธิฟอน ที่ให้ 1-2 ครั้ง สามารถชักนำการออกดอกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ การออกดอกเกิดขึ้นเร็วกว่าต้นที่ได้รับสารชนิดอื่น โดยใช้เวลาเฉลี่ย 32 วัน ผลสุกในเวลาเฉลี่ย 136-137 วัน หลังให้สารการให้สารเอทธิฟอน 1 ครั้ง ทำให้คุณภาพผลสับปะรดโดยรวมดีกว่าทุกกลุ่ม เนื้อผลแน่นปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดซิตริกสูง ให้ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ไร่) สูงสุด การให้สารชักนำดอกทั้ง

3 ชนิดซ้ำ 2 ครั้ง จะทำให้ผลสับปะรดมีรูปทรงผิดปกติ (ผลเบี้ยว) เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการให้สาร CaC_2 จะเกิดผลผิดปกติมากที่สุด

Gambley and Dodd (1990) ได้ทดองใช้สารกลุ่มไซโตไคนิน ชักนำให้เกิดยอดในแตงกวา โดยใช้ตาข้างจากโคนใบเลี้ยงของแตงกวา เลี้ยงบนอาหารแข็งดัดแปลงสูตร MS เติม BA 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ไคเนติน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2iP 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า แตงกวาสามารถเกิดยอดได้ 23 ยอด ต่อหนึ่งตาข้าง และการใช้ไซโตไคนิน มีผลตอบสนองต่อการเกิดยอดโดยการใช้ไคเนติน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการเกิดยอดดีที่สุด

ในการที่จะให้วงจรชีวิตของพืชเกิดขึ้นอย่างครบวงจรในสภาพปลอดเชื้อ และสร้างวิธีการผสมข้ามในสภาพปลอดเชื้อได้นั้น ขั้นตอนในการชักนำดอกเป็นขึ้นตอนที่สำคัญ นอกจากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีรายงานเกี่ยวกับการชักนำดอกของพืชในสภาพปลอดเชื้อมาแล้วกับหลายพืช เช่น Cichorium intybus (Harada, 1966) ยาสูบ (Wardell & Skoog, 1969; Hillson & Lamotte, 1977) torenia (Tanimoto & Harada, 1979 and 1981abc) Streptocarpus nobilis (Simonds, 1982) มันสำปะหลัง (Tang et al; 1983) ถั่วเหลือง (Dickens & Staden, 1985) ข้าวโพด (Hisajima et al., 1987) มันฝรั่ง (Wareh et al., 1989) แตงกวา (Msikita, 1990) Citrus limon (Tisserat et al., 1990) Eucalyptus nitens (Moncur & Hasan, 1994) Phalaenopsis (Duan & Yazawa, 1995) ไผ่ (Nadguada et al., 1997) สตรอเบอรี่ (Asao et al., 1997) ลูกแพร (Harada & Murai, 1998) *Murraya paniculata* (L.) Jack (Jumin & Ahmad, 1999) Chicory (Demeulemeester & De Proft, 1999) Cymbidium niveo-marginatum Mak (Kostenyuk et al., 1999) ถั่วเขียว (Franklin et al., 2000) bitter melon (Wang et al., 2001) บัควีต (Kachonpadungkitti et al., 2001) gentian (Zhang & Leung, 2002) *Pharbitis nil* (Galoch et al., 2002) *Cymbidium ensifolium* (Chang & Chang, 2003) ในปี 1984 มีผลงานวิจัยของ Narasimhulu and reddy ที่รายงานว่าสามารถชักนำดอกจากชิ้นส่วนของกลีบเลี้ยงในต้นถั่วเป็นผลสำเร็จ และในปี 1992 Kachonpadungkitti et al. ได้รายงานว่าฮอร์โมน BAP มีความสำคัญต่อการออกดอกและติดผลของถั่วลิสงในสภาพปลอดเชื้อ แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการเกิดดอกของถั่วลิสงในสภาพปลอดเชื้อก็ยังอยู่ในอัตราที่ต่ำ (Narasimhulu & Reddy 1984; Kachonpadungkitti et al. 1992)