แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 8
ชีวเคมีประยุกต์ทางการเกษตร

หัวข้อเนื้อหา

1. ชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรด้านพืช
2. เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
3. ชีวเคมีและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของพืช
4. สรุป

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายความสัมพันธ์ของความรู้ทางชีวเคมีและการเกษตรได้
2. อธิบายหน้าที่และความสำคัญของฮอร์โมนพืชประเภทต่าง ๆ ได้
3. บอกหลักการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชขั้นพื้นฐานและหลักการใช้ฮอร์โมนเหนี่ยวนำให้เนื้อเยื่อพืชพัฒนาเป็นอวัยวะได้
4. บอกกระบวนการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตทางการเกษตรและวิธีชะลอการเสื่อม สภาพของผลิตทางการเกษตร

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน

    1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย โดยบรรยายเรื่องชีวเคมีของฮอร์โมนพืช การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตพืชเกษตร

    1.2 อภิปราย สรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวกับชีวเคมีประยุกต์ทางการเกษตร

2. กิจกรรมการเรียนการสอน

    2.1 แสดงตัวอย่างชีวเคมีประยุกต์ทางการเกษตรในชีวิตประจำวัน

    2.2 สืบค้นตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนลีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวสำหรับพืชเศรษฐกิจหรือพืชแปลกใหม่

สื่อการเรียนการสอน

1. เครื่องคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต
2. เพาเวอร์พอยต์พรีเซนเตชัน เรื่องชีวเคมีประยุกต์ทางการเกษตร
3. สำเนาเอกสารคำสอนรายวิชาชีวเคมีประยุกต์

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตการตอบคำถามในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการอภิปรายโต้ตอบ ซักถาม และการแสดงความคิดเห็น
3. สังเกตพฤติกรรมความกระตือรือร้นในการร่วมกิจกรรม
4. ประเมินคุณภาพของงานที่มอบหมาย

บทที่ 8
ชีวเคมีประยุกต์ทางการเกษตร

ชีวเคมีสามารถใช้อธิบายสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตได้ทุกชนิด ทำให้เข้าใจกระบวนการทำงานภายในโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ที่ทำให้สามารถดำรงชีวิตและมีกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ได้ ความรู้ทางชีวเคมียังพัฒนาต่อไปยังเทคโนโลยีการเกษตรด้านพืช เช่น การเพิ่มผลผลิต การปรับปรุงพันธ์และการขยายพันธุ์พืช การศึกษาชีวเคมีของพืชนำมาสู่การค้นพบฮอร์โมนพืช และเทคโนโลยีชีวภาพด้านการขยายพันธุ์พืชด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำให้ปัจจุบันสามารถผลิตพืชที่มีจำนวนมากและมีคุณภาพตามที่ต้องการได้ อีกทั้งเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยังถูกใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการะบวนการดัดแปลงพันธุกรรมพืช

ชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรด้านพืช

ชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับพืชและการเกษตรจะมีการศึกษาคลอบคลุมกระบวนการสำคัญต่าง ๆ ของพืช เช่น การหายใจ การสังเคราะห์แสง การตรึงไนโตรเจน การเกิดแก๊สเอทิลีน การตอบสนองต่อฮอร์โมน การศึกษาชีวเคมีจะช่วยให้เข้าใจถึงกลไกการทำงานต่าง ๆ ของพืช นำมาสู่เทคโนโลยีที่จะช่วยควบคุมกระบวนการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการผลิตยาปราบศัตรูพืชวิธีต่าง ๆ ตลอดจนวิธีการปรับปรุงพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ให้มีความแข็งแรงต้านทานโรค เป็นต้น ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงชีวเคมีของฮอร์โมนพืช การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549 : 1-5 ; ดนัย บุณยเกียรติ, 2556 : 73-74 และ นภา ศิวรังสรรค์, 2557 : 15-17)

1. ชีวเคมีของฮอร์โมนพืช

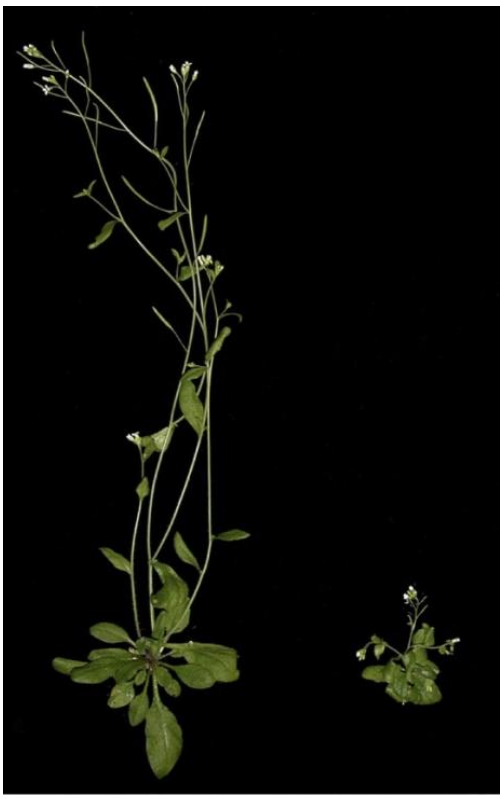
ฮอร์โมนพืช (plant hormone) เป็นสารเคมีที่ออกฤทธิ์ควบคุมการเจริญเติบโตของต้นพืช เป็นโมเลกุลที่ใช้ส่งสัญญาณและถูกผลิตขึ้นในต้นพืชเอง และถูกพบในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำมาก ฮอร์โมนจะควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวกับเซลล์ในเซลล์เป้าหมายเฉพาะที่ และยังช่วยกำหนดรูปทรงของพืช การงอกของเมล็ด การออกดอก เวลาการออกดอก เพศของดอก การแตกกิ่ง การแตกใบ การสลัดใบ การเจริญเติบโต และการสุกของผลอีกด้วย พืชจะต่างกับสัตว์ตรงที่พืชไม่มีต่อมสำหรับหลั่งฮอร์โมน แต่เซลล์แต่ละเซลล์ของพืชจะมีความสามารถในการผลิตฮอร์โมนออกมาได้ ฮอร์โมนจะส่งผลกับกับลักษณะของพืชโดยทั่วไปเช่น การแตกกิ่ง การอายุขัย การสร้างใบ หรือแม้แต่การตายของพืช (ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550 : 125-126 และ ลิลลี่ กาวีต๊ะ และคณะ, 2552 : 205)

2. ชนิดของฮอร์โมนพืช

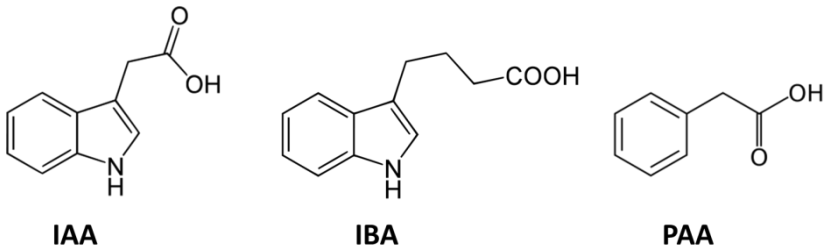
ฮอร์โมนพืชจะส่งผลต่อระดับแสดงออกของยีน การถอดรหัส การแบ่งเซลล์ และการเจริญเติบโต โดยธรรมชาติ แม้ว่าพืชจะสามารถผลิตฮอร์โมนขึ้นมาใช้ได้เอง แต่อาจมีสารเคมีที่มีลักษณะคล้าย ๆ กับฮอร์โมนพืชที่ผลิตมาจากเชื้อราหรือแบคทีเรียที่สามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ นอกจากนี้ยังมีสารเคมีที่เกี่ยวข้องจำนวนมากที่สามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นมาได้และถูกใช้สำหรับการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เพาะปลูก วัชพืช พืชที่ปลูกในหลอดทดลองหรือที่ได้จากการเพาะเชื้อ และรวมถึงเซลล์พืช สารเคมีที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นนี้จะถูกเรียกว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เซลล์พืชไม่สามารถตอบสนองต่อฮอร์โมนได้ทุกเซลล์ เซลล์แต่ละกลุ่มจะตอบสอนงกับฮอร์โมนในช่วงเวลาที่จำเพาะในรอบวงจรการเจริญเติบโต โดยฮอร์โมนจะถูกสร้างขึ้น บริเวณที่มีเนื้อเยื่อเจริญ และหลังจากที่ฮอร์โมนถูกสร้างขึ้นบางครั้งฮอร์โมนก็จะถูกเคลื่อนย้ายไปที่ส่วนอื่น ๆ ของพืช ความเข้มข้นของฮอร์โมนที่พืชในเซลล์อยู่ในระดับที่ต่ำมาก (10^{-6}-10^{-5} โมลต่อลิตร) ซึ่งความเข้มข้นในระดับที่ต่ำมากนี้ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับฮอร์โมนพืชทำได้ยาก และช่วงหลังของทศวรรษที่ 1970 จึงเริ่มมีการศึกษาเรื่องฮอร์โมนพืชชนิดต่าง ๆ ในด้านความสัมพันธ์กันเชิงหน้าที่ ฮอร์โมนพืชถูกแบ่งออกเป็น 5 ชนิดหลัก จำแนกโดยความคล้ายคลึงกันทางโครงสร้างเคมีและผลทางชีวภาพต่อต้นพืช ดังนี้ (มานี เตื้อสกุล, 2542 : 2-5 และ ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550 : 125-126)

2.1 กลุ่มฮอร์โมนออกซิน

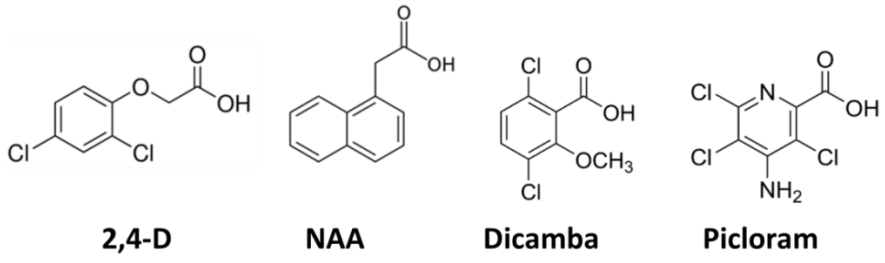
ออกซิน (auxin) เป็นกลุ่มของฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นการเจริญ เติบโต ทำให้มีการแบ่งเซลล์และยืดตัวของเซลล์ (ภาพประกอบ 8.1) การขนส่งออกซินภายในพืชเป็นการขนส่งอย่างมีทิศทาง ออกซินเป็นฮอร์โมนที่แพร่กระจายทั่วไปในพืช มีเข้มข้นสูงที่เนื้อเยื่อเจริญ ตำแหน่งที่มีการสังเคราะห์ออกซิน ได้แก่เนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายยอดและปลายราก ใบอ่อน ช่อดอก เอ็มบริโอและผล ที่กำลังเจริญ เมล็ดที่กำลังงอก การสังเคราะห์ออกซินเกิดในเนื้อเยื่อที่มีอายุมากน้อยหรือไม่มีเลย (Sabatini *et al*., 1999 : 463-472) สารตั้งต้นของการสังเคราะห์ออกซินในพืชคือกรดอะมิโนทริปโตแฟน ออกซินที่พืชสร้างขึ้นมีสองแบบคือแบบอิสระ สามารถเคลื่อนที่ได้ดี และอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่จับอยู่กับสารอื่น ๆ ทำให้เคลื่อนที่ได้น้อยหรือไม่ออกฤทธิ์ ฮอร์โมนกลุ่มออกซินจำแนกเป็นออกซินธรรมชาติและออกซินสังเคราะห์ โดยออกซินธรรมชาติ ได้แก่ กรดอินโดล-3-แอซีติก (indole-3-acetic acid; IAA) กรดอินโดล-3-บิวทีริก (indole-3-butyric acid; IBA) และ กรดฟีนิลแอซีติก (phenylacetic acid; PAA) (ภาพประกอบ 8.2) และที่ออกซินสังเคราะห์ได้แก่ กรด 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีแอซีติก (2, 4-dichlorophenoxyacetic acid; 2,4-D) กรด 1-แนฟทาลีนแอซีติก (1-naphthaleneacetic acid; NAA) ไดแคมบา (3,6-dichloro-2-methoxybenzoic acid; dicamba) และพิคลอแรม (picloram) (ภาพประกอบ 8.3) (มานี เตื้อสกุล, 2542 : 7-12 ; ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550 : 126-132)



ภาพประกอบ 8.1 ความผิดปกติของต้น *Arabidopsis thaliana* ที่ทำการกลายพันธุ์ให้ไม่สามารถรับสัญญาณจากฮอร์โมนออกซินได้ (ขวา) เปรียบเทียบกับต้นปกติ (ซ้าย)
ที่มา : Gray (2004 : 1272)



ภาพประกอบ 8.2 โครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มออกซินธรรมชาติ ได้แก่ กรดอินโดล-3-แอซีติก (IAA) กรดอินโดล-3-บิวทีริก (IBA) และกรดฟีนิลแอซีติก (PAA)
ที่มา : ภาพโดย วรวัฒน์ พรหมเด่น (2560)

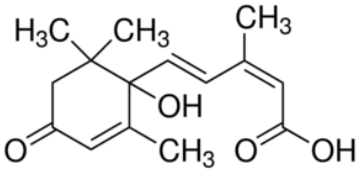


ภาพประกอบ 8.3 โครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มออกซินสังเคราะห์ ได้แก่ กรด 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีแอซีติก (2,4-D) กรด 1-แนฟทาลีนแอซีติก (NAA) ไดแคมบา (dicamba) และพิคลอแรม (picloram)

ที่มา : ภาพโดย วรวัฒน์ พรหมเด่น (2560)

2.2 กรดแอบไซซิก

กรดแอบไซซิก (abscisic acid; ABA) มีโครงสร้างแสดงดังภาพประกอบ 8.4 เป็นฮอร์โมนที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชทนต่อสภาวะเครียดต่าง ๆ ได้ดี มีบทบาทในการเจริญพัฒนาของเอ็มบริโอ (embryo) การพักตัวของเมล็ดและของตาพืช พบในพืชที่มีระบบท่อลำเลียงทั่วไป มอส สาหร่าย แต่ไม่พบในลิเวอร์เวิร์ต การออกฤทธิ์ทางสรีรวิทยาที่สำคัญของกรดแอบไซซิกที่สำคัญ ได้แก่ การควบคุมปากใบให้เปิดปิด การตอบสนองต่อสภาวะดินเค็มหรืออากาศหนาวเย็นเพื่อกระตุ้นให้มีการสร้างโปรตีนอออสโมตินมากขึ้น ออกฤทธิ์ยับยั้งการงอกของเมล็ด ทำให้มีการพักตัวของเอ็มบริโอ ชักนำให้ตาพืชเข้าสู่ระยะพักตัว ชักนำการหลุดร่วงและการเสื่อมชรา ยังยั้งการขยายของเซลล์โดยออกฤทธิ์ในทางตรงกันข้ามกับออกซิน และกระตุ้นการเคลื่อนไหวที่ตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วง (วันทนี สว่างอารมณ์, 2542 : 155-169 และ ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550 : 142-145)

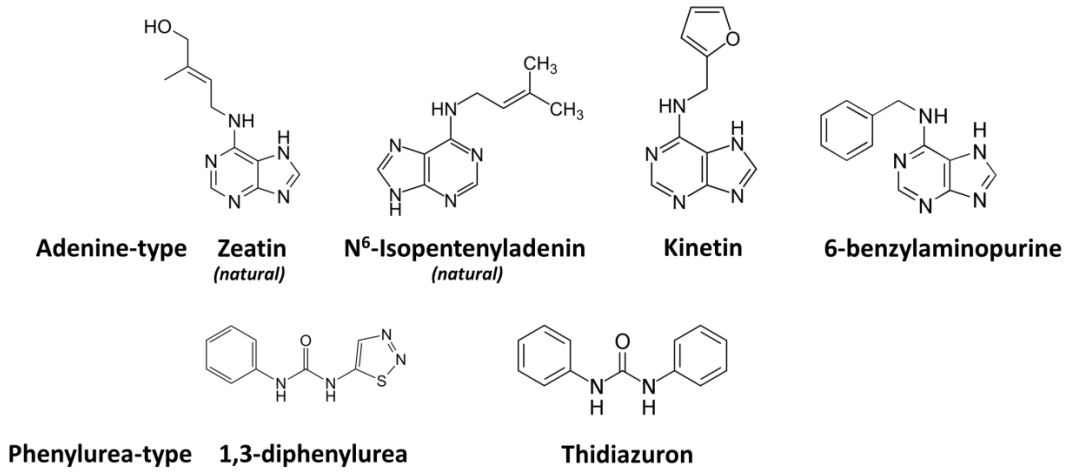


ภาพประกอบ 8.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอบไซซิก

ที่มา : ภาพโดย วรวัฒน์ พรหมเด่น (2560)

2.3 ไซโตไคนิน

การค้นพบฮอร์โมนในกลุ่มไซโตไคนินเริ่มจากการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยในปี ค.ศ. 1920 โกทท์ลีบ ฮาเบอร์ลันดท์ (Gottlieb Haberlandt) ได้แสดงให้เห็นว่ามีสารชนิดหนึ่งเกิดอยู่ในเนื้อเยื่อพืชและกระตุ้นให้เนื้อเยื่อพาเรนไคมาในหัวมันฝรั่งกลับกลายเป็นเนื้อเยื่อเจริญได้ ซึ่งแสดงว่าสารชนิดนี้สามารถกระตุ้นให้มีการแบ่งเซลล์ ภายหลังยังมีการพบว่าน้ำมะพร้าวและเนื้อเยื่อของหัวแครอทมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์เช่นกัน ในการศึกษาสารสกัดจากเอนโดสเปิร์มของข้าวโพดในระยะที่ยังอ่อนพบว่ามีสารที่ออกฤทธิ์กระตุ้นการแบ่งเซลล์ได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับออกซินเรียกสารนี้ว่า ซีเอทิน (zeatin) หรือ 6-(4-hydroxy-3-methylbut-2-enylamino) purine (รูปที่) ซีเอตินเป็นฮอร์โมนพืชในกลุ่มไซโตไคนินที่พบมากที่สุด นอกจากนั้น ยังมีสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติจัดอยู่ในกลุ่มไซโตไคนินที่รู้จักกันดี เช่นเบนซิลอะดีนีน (benzyladenine) หรือเบนซิลอะมิโนพิวรีน (benzylaminopurine) เอ็นเอ็น-ได้ฟีนิลยูเรีย (N,N'-diphenylurea) และไทไดอะซูรอน (thidiazuron) เป็นต้น (Gray, 2004 : 1270-1273) ดังนั้นจึงมีการจัดจำแนกสารเคมีที่ออกฤทธิ์กลุ่มไซโตไคนินตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็น 2 ประเภท คือ แบบโครงสร้างอะดินีน (adenine-type cytokinin) และแบบโครงสร้างฟีนิลยูเรีย (phenylurea-type cytokinin) ดังภาพประกอบ 8.5 ความผิดปกติของการขาดฮอร์โมนไซโตไคนินแสดงดังภาพประกอบ 8.6 และในปัจจุบันพบว่ากลไกการออกฤทธิ์ทางสรีรวิทยาของไซโตไคนิน ได้แก่ การสนับสนุนการขยายตัวของเซลล์ ส่งเสริมการแตกตาข้าง การชะลอการชรา และสามารถทำลายระยะพักตัวของพืช และเมล็ดพืชหลายชนิดได้ เช่น ผักกาดหอม (Kieber, 2002 : 1-2 and Kieber and Schaller, 2010 : 487-492)

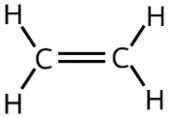


ภาพประกอบ 8.5 โครงสร้างของสารเคมีออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนในกลุ่มไซโตไคนิน
ที่มา : ภาพโดย วรวัฒน์ พรหมเด่น (2560)

ภาพประกอบ 8.6 พืชปกติ (ซ้าย) เปรียบเทียบกับต้นพืชที่ทำการกลายพันธุ์ให้ไม่สามารถผลิตไซโตไคนินได้จะมีลักษณะการเจริญเติบโตน้อยลง มีขนาดแคระลง (ขวา)
ที่มา : Kiba *et al*. (2013 : 454)

2.4 เอทิลีน

เอทิลีน (ethylene) เป็นฮอร์โมนพืชที่มีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง (ภาพประกอบ 8.7) บทบาทที่สำคัญของเอทิลีนคือควบคุมกระบวนการเติบโตที่เกี่ยวข้องกับความชรา การหลุดร่วงของใบ ดอก ผล และควบคุมการเจริญของพืชเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เอทิลีนมีผลต่อต้นกล้าของถั่ว 3 ลักษณะ (triple response) ได้แก่ ยับยั้งความสูงของลำต้น ลำต้นหนาขึ้น และเพิ่มการเติบโตในแนวราบ นอกจากนั้นยังพบว่าการแผ่ขยายของแผ่นใบถูกยับยั้ง ส่วนเหนือใบเลี้ยงมีลักษณะโค้งงอเป็นตะขอ (epicotyl hook) (Wang, 2002 : 131-151 and Merchante and Stepanova, 2017 : 163-209) การสังเคราะห์เอทิลีนเกิดขึ้นได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชทั้งราก ลำต้น ใบ ผล เมล็ด และส่วนหัว แต่อัตราการสังเคราะห์จะขึ้นกับระยะเวลาในการเติบโต โดยเนื้อเยื่อที่แก่จะสังเคราะห์เอทิลีนมาก เช่นในกรณีของผลไม้ที่กำลังสุก เอทิลีนจะเพิ่มขึ้นทำให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น คลอโรฟิลล์สลายตัวพร้อมกับเกิดการสร้างสารสี รส และกลิ่น การอ่อนตัวลงของเนื้อเยื่อ และเตรียมพร้อมสำหรับการหลุดร่วง (ภาพประกอบ 8.8) ในใบอ่อนจะผลิตเอทิลีนน้อยและจะเพิ่มขึ้นเมื่อใบแก่ขึ้นและจะมากที่สุดเมื่อใบใกล้ร่วง เนื้อเยื่อที่ยังไม่แก่แต่เกิดบาดแผลหรือถูกรบกวนจะปล่อยเอทิลีนออกมาได้ภายในครึ่งชั่วโมง (ภาคภูมิ พระประเสริฐ, 2550 : 146-150 และ ลิลลี่ กาวีต๊ะ และคณะ, 2552 : 225-228)



ภาพประกอบ 8.7 โครงสร้างทางเคมีของเอทิลีน
ที่มา : ภาพโดย วรวัฒน์ พรหมเด่น (2560)

ภาพประกอบ 8.8 การทดลองกลายพันธุ์ยีนที่ตอบสนองต่อเอทิลีน (ethylene response factors) ได้แก่ยีน *Nr* *rin* และ *nor* ในมะเขือเทศ ส่งผลให้มะเขือเทศสุกช้าลงเมื่อเทียบกับสายพันธุ์ดั้งเดิม (WT)

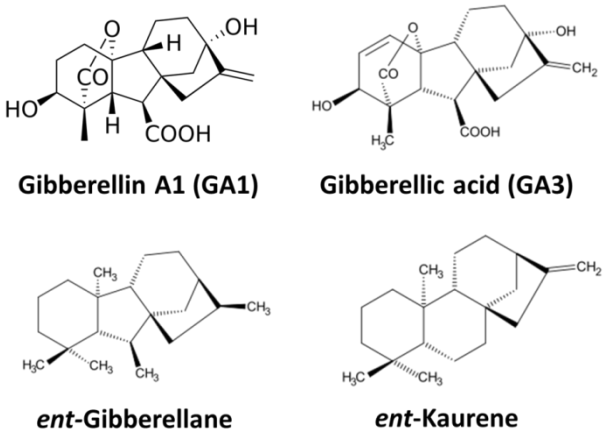
ที่มา : Liu *et al*. (2016 : 1738)

2.5 จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลิน (gibberellin) เป็นฮอร์โมนพืชที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ ควบคุมการเจริญเติบโตและมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางพัฒนาการรวมทั้งการยืดของข้อ การงอก การพักตัว การออกดอก การแสดงเพศ การเหยี่ยวนำการสร้างเอนไซม์ รวมทั้งการชราของดอกและผล จิบเบอเรลลินถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2469 โดยเออิจิ คุโรซาวา (Eiichi Kurosawa) นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น ซึ่งเริ่มจากการศึกษาต้นข้าวที่เป็นโรคบากานะเอะ (Bakanae; foolish seedling disease) ในข้าว ซึ่งทำให้ต้นข้าวมีลักษณะผอมสูง สาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Gibberella fujikuroi* เมื่อสกัดสารที่เชื้อรานี้สร้างขึ้นไปทดสอบกับพืชชนิดอื่น พบว่าทำให้พืชนั้น ๆ มีอาการอย่างเดียวกันคือต้นผอมสูง จึงตั้งชื่อสารที่ค้นพบนี้ว่าจิบเบอเรลลิน (Grennan, 2006 : 524–526) ต่อมามีการพบอนุพันธ์ของกรดจิบเบอเรลลิกจากเชื้อราอีกหลายชนิด (ภาพประกอบ 8.9) ในปัจจุบันพบจิบเบอเรลลินแล้วมากกว่า 130 ชนิด ทั้งที่แยกได้จากพืช รา แบคทีเรีย จากการสังเคราะห์ (Hedden and Sponsel, 2015 : 740-760)

จิบเบอเรลลินเป็นสารกลุ่มไดเทอร์พีนอยด์ (diterpenoid) ที่สังเคราะห์โดยวิถีเทอร์พีนอยด์ (terpenoid pathway) ในพลาสติด (plastid) แล้วจึงมีการเปลี่ยนรูปในเอนโดพลาสมิกเรกติคิวลัม (endoplasmic reticulum) และไซโตซอล (cytosol) จนได้รูปที่ออกฤทธิ์ในสิ่งมีชีวิตได้ จิบเบอเรลลินทั้งหมดมีโครงสร้างเป็นอนุพันธ์ของ *ent*-gibberellane ที่สังเคราะห์มาจาก *ent*-kaurene การสังเคราะห์จิบเบอเรลลินในพืชชั้นสูงเริ่มจากสร้างเจอรานิลเจอรานิลไดฟอสเฟต (geranylgeranyl diphosphatel; GGDP) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารกลุ่มไดเทอร์พีนอยด์หลายชนิด จากนั้นจึงเปลี่ยน GGDP ไปเป็น *ent*-kaurene แล้วจึงเปลี่ยนเป็น GA12 แล้วจึงเปลี่ยนต่อไปเป็นจิบเบอเรลลินตัวอื่น ๆ พบว่ามีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถสร้างจิบเบอเรลลินได้ เช่น แบคทีเรีย ไซยาโนแบคทีเรีย ยีสต์ สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีแดง รวมทั้งไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) ที่อาศัยอยู่ในรากกล้วยไม้ ซึ่งวิถีการผลิตจิบเบอเรลลินจะคล้ายกับในพืชชั้นสูง แม้ว่าเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องจะต่างออกไป (Davière and Achard, 2013 : 1147-1151 and Gupta and Chakrabarty, 2013 : 1-5) พบว่าในรากพืชตระกูลถั่วที่เกิดปมมีสารคล้ายจิบเบอเรลลินมากกว่ารากข้างเคียงที่ไม่เกิดปม โดยจากการศึกษาในเมล็ดถั่วราชมาษ (*Phaseolus lunatus*) ที่เติมเชื้อ *Bradyrhizobium sp.* สายพันธุ์ที่จำเพาะต่อถั่วพันธุ์นี้ จะพบว่าเมื่อต้นถั่วเจริญขึ้นจะมีส่วนปล้องจะยาวกว่าต้นถั่วที่ได้รับเชื้อสายพันธุ์ที่ไม่จำเพาะ และพบจิบเบอเรลลินหลายตัวในปมที่มีแบคทีเรียที่กระตุ้นการยืดยาวของปล้องได้ จิบเบอเรลลินสามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรีย (เช่น *Azotobactor Pseudomonas*) ยีสต์ และราได้เช่นกัน และจิบเบอเรลลินยังสามารถกระตุ้นการตรึงไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของ *Anabaena* ได้ด้วย (Glick, 2012 : 1-15)

การออกฤทธิ์ทางสรีรวิทยาที่สำคัญของจิบเบอเรลลิน ได้แก่ การกระตุ้นการขยายตัวของเซลล์ โดยการเพิ่มความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ทำให้เซลล์มีรูปร่างยืดยาวขึ้น (ภาพประกอบ 8.10) กระตุ้นการเจริญของรากโดยเฉพาะการเจริญของรากแรกเกิด (radicle) กระตุ้นการพัฒนาการของดอกโดยเฉพาะพัฒนาการของก้านชูเกสรตัวผู้และกลีบดอก และส่งเสริมการติดผลในพืช และการกระตุ้นการพักตัวของพืช (Olszewski *et al*., 2002 : 61-80)



ภาพประกอบ 8.9 โครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มจิบเบอเรลลิน
ที่มา : ภาพโดย วรวัฒน์ พรหมเด่น (2560)

ภาพประกอบ 8.10 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันของต้น *Arabidopsis thaliana* ที่ปกติ (ขวา) และที่ทำการกลายพันธุ์โดยทำลายยีน GA20ox1 ที่เกี่ยวข้องกับวิถีชีวสังเคราะห์ของจิบเบอเรลลิน (ซ้าย)
ที่มา : Max Planck Society (2013)

เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อคือการเลี้ยงชิ้นส่วนใด ๆ ของพืช เนื้อเยื่อเซลล์ หรืออาจเลี้ยงเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรือเซลล์ไม่มีผนัง ในอาหารสังเคราะห์ ในสภาพปลอดเชื้อ มีการควบคุมอุณหภูมิ แสงและความชื้น เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อถือได้ว่าเป็นความเจริญก้าวหน้าในด้านการเกษตรเกี่ยวกับพืชที่มีการพัฒนาเทคนิคในการขยายพันธุ์แบบใหม่ ทำให้ได้พืชต้นใหม่จำนวนมากอย่างรวดเร็วในเวลาอันจำกัด โดยมีคุณภาพดีเหมือนเดิม (อารีย์ วรัญญูวัฒก์, 2541 : 7-10 ; สมพร ประเสริฐส่งสกุล, 2552 : 1-2 และ สิริภัทร์ พราหมณีย์, 2558 : 1)

ความรู้ทางชีวเคมีช่วยส่งเสริมให้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อประสบความสำเร็จมากขึ้น สามรถชักนำให้เนื้อเยื่อเกิดการพัฒนาอวัยวะที่ต้องการได้ ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื้อนิยมใช้กับพืชที่มีปัญหาในเรื่องของการขยายพันธุ์ หรือพืชที่มีปัญหาเรื่องโรค เช่น ขิง กล้วยไม้ หรือพืชเศรษฐกิจ เช่น กุหลาบ ดาวเรือง ข้าว แครอท คาร์เนชั่น เยอร์บีร่า เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559 : 1) แม้ว่าเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะสำคัญทางเศรษฐกิจ แต่ในเบื้องหลัง เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อถูกใช้เป็นเครื่องมือให้การสร้างพืชตัดแต่งพันธุกรรมและการวิจัยเพื่อศึกษาการแสดงออกระดับยีนของพืช (นภา ศิวรังสรรค์, 2557 : 15-17)

1. วิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีวิธีการและขั้นตอนดังนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559 : 11)

1.1 การคัดเลือกชิ้นส่วนพืช

ส่วนของพืชแทบทุกส่วน ไม่ว่าจะเป็นส่วนของลำต้น ตา ดอก ราก เนื้อเยื่อเซลล์ หรือโปรโตพลาส (ภาพประกอบ 8.11) สามารถนำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและพัฒนาให้เกิดเป็นต้นพืชได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืชและวัตถุประสงค์ที่ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

1.2 การทำความสะอาด

ชิ้นส่วนที่นำมาทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อควรเป็นชิ้นส่วนที่สะอาดปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ดังนั้น จึงต้องนำมาฆ่าเชื้อด้วยวิธีการฟอกฆ่าเชื้อแล้วล้างด้วยน้ำที่ทำให้ปลอดเชื้อแล้ว

1.3 การตัดเนื้อเยื่อ

ตัดชิ้นส่วนพืชที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้วให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยใบมีดปลอดเชื้อ แล้ววางลงบนอาหารสังเคราะห์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (ภาพประกอบ 8.12)

1.4 การบ่มเลี้ยงเนื้อเยื่อ

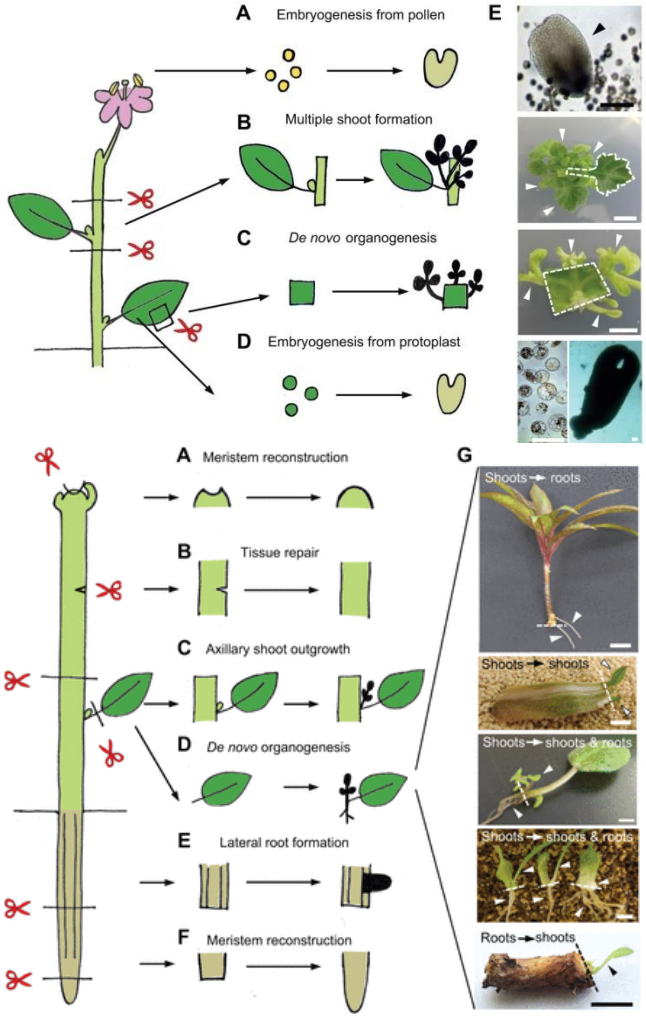
นำขวดอาหารที่มีชิ้นส่วนพืชวางบนชั้นที่มีแสงสว่าง 2,000-4,000 ลักซ์ กำหนดให้แสงสว่างวันละ 12-16 ชั่วโมง ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 25-28 องศาเซลเซียส จนกระทั่งชิ้นส่วนของพืชมีการพัฒนาเป็นต้นที่สมบูรณ์ (ภาพประกอบ 8.13)

1.5 การตัดแบ่งและเลี้ยงอาหาร

ตัดแบ่งชิ้นส่วนเนื้อเยื่อและเปลี่ยนอาหารเพื่อเพิ่มปริมาณของต้นพืช ในทุก 1-2 เดือน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและระยะการเจริญเติบโต พร้อมกับปรับสัดส่วนฮอร์โมนในอาหารเพื่อชักนำให้เกิดรากและยอดจนกระทั่งพืชเจริญเติบโตเป็นต้นที่สมบูรณ์ (ภาพประกอบ 8.14)

1.6 การย้ายปลูกในสภาพธรรมชาติ

นำต้นพืชที่มียอดและรากที่สมบูรณ์ออกจากขวด ล้างวุ้นที่ติดกับรากออกให้หมดด้วยน้ำสะอาดและผึ่งลมให้แห้ง แช่น้ำยาป้องกันกำจัดเชื้อรา นำไปปลูกในวัสดุที่โปร่ง สะอาด ระบายน้ำได้ดีภายใต้ นำไปวางไว้ในที่ร่มและพรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 4 สัปดาห์ หรือจนกระทั่งต้นพืชตั้งตัวได้ (ภาพประกอบ 8.15)

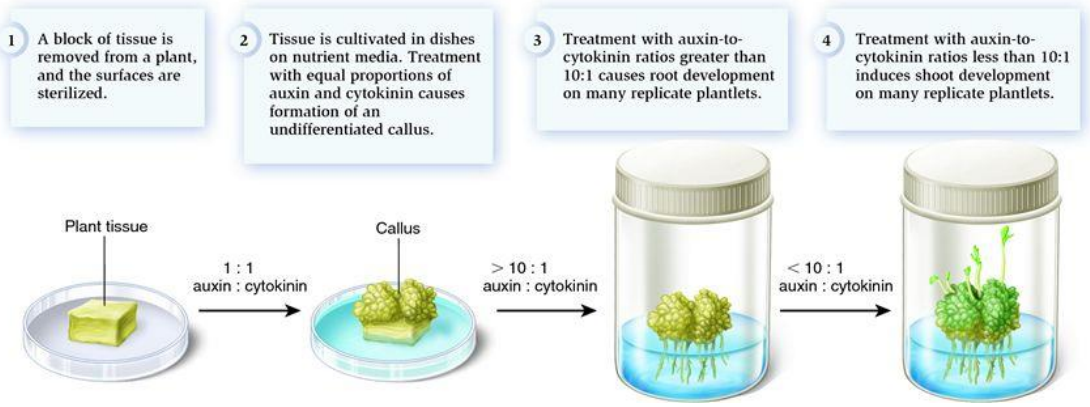


ภาพประกอบ 8.11 ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่สามารถนำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้

ที่มา : Ikeuchi (2016 : 1443-1444)

ภาพประกอบ 8.12 การตัดเนื้อเยื่อชิ้นส่วนพืชที่ทำการฟอกฆ่าเชื้อแล้ว
ที่มา : เพ็ญพิชญา เตียว (2557)

ภาพประกอบ 8.13 การบ่มเลี้ยงเนื้อเยื่อในชั้นที่ให้แสงสว่างและควบคุมอุณหภูมิ
ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2559 : 4)



ภาพประกอบ 8.14 การเปลี่ยนอาหารและปรับสัดส่วนฮอร์โมนเพื่อชักนำให้เกิดรากและยอด จนกระทั่งพืชเจริญเติบโตเป็นต้นที่สมบูรณ์

ที่มา : Tissue Culture of Plants (n.d.)

ภาพประกอบ 8.15 การย้ายปลูกในสภาพธรรมชาติ

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2559 : 3)

2. อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

หลักของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชคือการนำธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่จำเป็นสำหรับพืชมาผสมกับแหล่งคาร์บอนในอัตราส่วนที่เหมาะสมในน้ำกลั่น มีการปรับสภาพค่า pH ประมาณ 5.6-5.7 และเติมวุ้น (agar) ปริมาณ 0.6-1% เป็นสารช่วยพยุง บรรจุลงขวดแก้วแล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ วิตามินและฮอร์โมนพืชอาจจำเป็นต้องแยกเติมภายหลังเมื่ออาหารผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อและเย็นตัวลงแล้ว ชนิดและสัดส่วนของฮอร์โมนพืชที่จะเติมลงไปขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการตอบสนองของพืชชนิดต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาและวิจัยในพืชแต่ละชนิด ในขณะที่ธาตุอาหารสำหรับอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะมีสูตรค่อนข้างคล้ายคลึงกัน องค์ประกอบสำคัญของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีดังนี้ (ศิวพงษ์ จำรัสพันธุ์, 2546 : 21-24 ; สมพร ประเสริฐส่งสกุล, 2552 : 16-20 ; วราภรณ์ ภูตะลุน, 2557 : 30-31 และ สิริภัทร์ พราหมณีย์, 2558 : 19-23)

2.1 ธาตุอาหารหลัก

ธาตุอาหารหลักหมายถึงธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมากเนื่องจากมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตจำเป็นต้องใช้เป็นส่วนหนึ่งของการสังเคราะห์โครงสร้างเซลล์และสารพันธุกรรม โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปเกลืออนินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจน ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

2.1.1 ไนโตรเจน (N) มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญของพืช เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ไนโตรจินัสเบส กรดอะมิโน และฮอร์โมนพืชบางชนิด ถ้าขาดไนโตรเจนจะทำให้ใบเหลืองและต้นเตี้ยแคระ ในทางตรงกันข้ามถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วแต่จะไม่ออกดอก ในสูตรอาหารจะนิยมใช้ในรูปเกลือไนเทรตความเข้มข้น 25-60 มิลลิ โมลาร์ หรืออาจเสริมด้วยเกลือแอมโมเนียมความเข้มข้น 2-20 มิลลิโมลาร์ด้วย

2.1.2 ฟอสฟอรัส (P) พบมากในเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญอย่างรวดเร็ว ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของสารพันธุกรรมและจำเป็นต่อการสังเคราะห์ ATP หากมีฟอสฟอรัสน้อยเกินไปจะทำให้พืชเฉาและผิดปกติ ในสูตรอาหารจะนิยมใช้ในรูปเกลือโปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ด้วย

2.1.3 โพแทสเซียม (K) จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต การสร้างคลอโรฟิลล์และการรีดิวซ์ไนเตรต โพแทสเซียมที่ไม่เพียงพอทำให้พืชอ่อนแอและผิดปกติ

2.1.4 แคลเซียม (Ca) มีบทบาทสำคัญในการดูดซึมสาร ให้ความสะดวกในการเคลื่อนที่ของคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโนในใบตลอดทั่วทั้งต้นพืชและช่วยให้รากเจริญ

2.1.5 แมกนีเซียม (Mg) การขาดแมกนีเซียมทำให้ใบมีสีซีดจางและเฉา

2.2 ธาตุอาหารรอง

ธาตุอาหารรองหมายถึงธาตุที่พืชต้องการในปริมาณที่น้อยมาก แต่ขาดไม่ได้ เนื่องจากมีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในบางปฏิกิริยา ได้แก่ เหล็ก กำมะถัน โบรอน โมลิบดินัม แมงกานีส โคบอลต์ สังกะสี ทองแดง และคลอรีน

2.2.1 เหล็ก (Fe) พืชที่ขาดเหล็กจะเกิดภาวะพร่องคลอโรฟิลล์

2.2.2 กำมะถัน (S) อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนบางชนิดช่วยให้รากเจริญและใบมีสีเขียวเข้ม

2.2.3 โบรอน (B) มีบทบาทในการเคลื่อนที่ของน้ำตาล ขาดโบรอนจะทำให้เนื้อเยื่อภายในเสื่อม เช่น โรคไส้เน่าในหัวผักกาด ลำต้นแตกในต้นคื่นช่าย หรือหน้าลิงในมะกอก เป็นต้น แต่หากโบรอนมากเกินไปจะทำให้พืชตายได้

2.2.4 โมลิบดินัม (M) มีส่วนร่วมในการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย เติมในอาหารเพาะเลี้ยงในรูปของโซเดียมโมลิบเดต

2.2.5 แมงกานีส (Mn) การขาดจะแสดงโดยคลอโรซีสมีใบเหลืองและแห้งเป็นจุด ๆ ธาตุนี้จำเป็นในเยื่อหุ้มของคลอโรพลาสต์

2.2.6 โคบอลต์ (Co) อยู่ในโมเลกุลของวิตามิน B12 ซึ่งจำเป็นในการตรึงไนโตรเจน

2.2.7 สังกะสี (Zn) อยู่ในเอนไซม์หลายชนิด เกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์และการสร้างออกซิน

2.2.8 ทองแดง (Cu) การขาดจะทำให้ต้นแคระแกร็น ใบพิการบิดและด่างเป็นจุด หรือใบอ่อนแห้งตาย

2.2.9 คลอรีน (Cl) จำเป็นในการกระตุ้นการสังเคราะห์ด้วยแสง การขาดทำให้ใบเหี่ยวแห้งกลายเป็นสีเหลืองหรือสีบรอนซ์และตายไป

2.3 แหล่งคาร์บอน

แหล่งคาร์บอน (carbon source) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารในทุก ๆ สูตร เพราะจำเป็นต้องใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชยังไม่มีการสังเคราะห์แสงในขณะที่เริ่มเพาะเลี้ยงและภายในขวดแก้วมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่จำกัด น้ำตาลที่นิยมใช้ คือ น้ำตาลซูโครส (sucrose) ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดเดียวกับที่พืชสังเคราะห์แสงได้เอง และมีความจำเป็นอย่างมากต่อเนื้อเยื่อพืชเกือบทุกชนิด โดยปกติมักใช้ในปริมาณ 1–5 % โดยทั่วไป น้ำตาลอาจมีการเปลี่ยนรูปเมื่อผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเป็นเวลานานเกินไปจึงจะเป็นต้องระมัดระวังการตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาของเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (ศิวพงษ์ จำรัสพันธุ์, 2546 : 23-24 ; สมพร ประเสริฐส่งสกุล, 2552 : 18-19 และ สิริภัทร์ พราหมณีย์, 2558 : 20-21)

2.4 วิตามิน

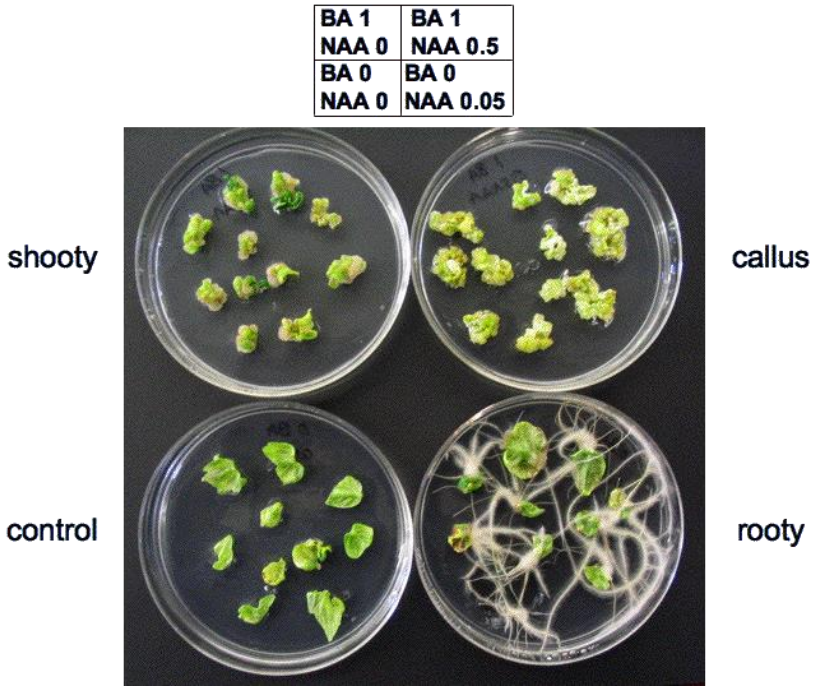
แม้พืชจะสามารถสังเคราะห์วิตามินที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตได้ทุกชนิด แต่อย่างไรก็ตามเซลล์พืชที่เลี้ยงในสภาพหลอดแก้วต้องการวิตามินบี 1 (thiamine) เพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึม และมีหลักฐานว่ามีความจำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐาน (morphogenesis) ปริมาณวิตามินบี 1 ใช้ที่ความเข้มข้น 0.1-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่วิตามินอื่น ๆ เช่น วิตามินบี 2 (riboflavin) วิตามินบี 5 (pantothenic acid) วิตามินบี 7 (biotin) วิตามินบี 9 (folic acid) ยังไม่มีผลการศึกษาที่แสดงถึงความสำคัญแต่อาจเติมลงไปได้ขึ้นอยู่กับความจำเป็นของพืชแต่ละชนิดหรือแต่ละการทดลอง (ศิวพงษ์ จำรัสพันธุ์, 2546 : 24-25 ; สมพร ประเสริฐส่งสกุล, 2552 : 16-17 และ สิริภัทร์ พราหมณีย์, 2558 : 20-21)

2.5 สารควบคุมการเจริญของพืช

สารควบคุมการเจริญของพืชหมายรวมถึงฮอร์โมนพืชด้วย ซึ่งที่นิยมใช้ได้แก่ ออกซินและไซโตไคนิน เนื่องจากจะช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์ การเจริญเติบโต และการเกิดเป็นโครงสร้างต่าง ๆ ของเนื้อเยื่อพืชในหลอดทดลอง ออกซินและไซโตไคนินที่ใส่ในอาหารสังเคราะห์จะช่วยเสริมฮอร์โมนที่เซลล์พืชสร้างขึ้นเอง ออกซินจะชักนำให้เกิดแคลลัส และในพืชใบเลี้ยงคู่หลายชนิดพบว่าหากใช้ออกซินร่วมกับไซโตไคนินจะช่วยให้แคลลัสเพิ่มปริมาณได้ดีขึ้น นอกจากนี้จากการทดลองศึกษาการสร้างยอดและรากในยาสูบ พบว่าหากได้รับสัดส่วนของปริมาณออกซินต่อไซโตไคนินต่ำ เนื้อเยื่อที่เลี้ยงในหลอดทดลองจะมีการพัฒนาเป็นยอด ในขณะที่ได้รับสัดส่วนของปริมาณออกซิน ต่อไซโตไคนินสูง เนื้อเยื่อที่เลี้ยงในหลอดทดลองจะพัฒนาเป็นราก (ภาพประกอบ 8.16) การตอบสนองต่อฮอร์โมนในพืชแต่ละชนิดอาจต่างกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อและชนิดของพืชซึ่งมีระดับฮอร์โมนภายในที่แตกต่างกัน ส่วนฮอร์โมนจิบเบอเรลลินส์นำมาใช้เพื่อช่วยให้ยอดเจริญยืดตัวขึ้นได้แต่มักมีผลยับยั้งการเกิดยอดและราก (ศิวพงษ์ จำรัสพันธุ์, 2546 : 24-25 ; สมพร ประเสริฐส่งสกุล, 2552 : 17-18 และ สิริภัทร์ พราหมณีย์, 2558 : 21-22)

2.6 สารเสริมจากธรรมชาติ

นิยมใช้สารจากธรรมชาติช่วยเสริมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เช่น น้ำมะพร้าว น้ำคั้นมะเขือเทศ กล้วยบด น้ำต้มมันฝรั่ง สารสกัดจากมอลต์ สารสกัดจากยีสต์ ทั้งนี้เพื่อช่วยเสริมการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยง แต่จะมีข้อด้อยคือสารเหล่านี้จะมีคุณภาพไม่คงที่และไม่ทราบปริมาณสารออกฤทธิ์ที่แน่นอน (ศิวพงษ์ จำรัสพันธุ์, 2546 : 26 ; สมพร ประเสริฐส่งสกุล, 2552 : 19 และ สิริภัทร์ พราหมณีย์, 2558 : 21)



ภาพประกอบ 8.16 สัดส่วนของปริมาณออกซิน (naphthalene acetic acid; NAA) ต่อไซโตไคนิน (6-benzylaminopurine; BA) จะมีผลต่อการพัฒนาเป็นยอดหรือราก
ที่มา : Koning (1994)

ชีวเคมีและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของพืช

เนื่องจากผลิตผลทางการเกษตรทุกชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเซลล์อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการที่จะทำให้ผลิตผลเหล่านี้จะดำรงสภาพสดใหม่จำเป็นจะต้องใช้ความรู้และเทคโนโลยีเข้าช่วย โดยต้องพิจารณาปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่ทำให้ผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลงสภาพจนกระทั่งเน่าเสีย ดังนี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549 : 6-9 และ ดนัย บุณยเกียรติ, 2556 : 253-254)

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียของผลิตผลทางพืชสวน

1.1 ปัจจัยภายใน

1.1.1 การคายน้ำ

พืชและผลิตผลสดต่าง ๆ ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในขณะเดียวกันปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพประกอบ จะสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ผลิตผลจะมีเนื้อเยื่อโครงสร้างต่าง ๆ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ได้แก่ ชั้นเอพิเดอร์มิส

(epidermis) รวมทั้งไข (wax) และคิวติน (cutin) ที่เคลือบผิวอยู่ แต่ผลิตผลก็จำเป็นต้องมีช่องเปิดต่าง ๆ เช่น ปากใบ และเลนติเซล (lenticel) เพื่อถ่ายเทอากาศนำเอาออกซิเจนเข้าไปสำหรับการหายใจและระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลนอกจากจะทำให้น้ำหนักที่จะขายได้ลดลงแล้ว ยังทำให้รสชาติของผลิตผลลดลงด้วยโดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัสและยังทำให้ผิวเหี่ยวย่นไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค

1.1.2 การหายใจ

หลังการเก็บเกี่ยวเซลล์ผักและผลไม้ยังคงมีชีวิตอยู่ โดยยังมีการหายใจและกิจกรรมทางชีวเคมียังคงดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง มีผลทำให้คุณภาพด้านต่าง ๆ ของผักและผลไม้ เช่น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง อัตราการหายใจยังมีความสำคัญต่อการพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เช่น การออกแบบระบบการแช่เย็นผักและผลไม้ ผลิตผลทางการเกษตรที่มีอัตราการหายใจสูงกว่ามีแนวโน้มที่จะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่า

1.1.3 การผลิตเอทิลีน

แก๊สเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชอย่างหนึ่งซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชและผลิตผลค่อนข้างมาก เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสร้างเอทิลีนได้ โดยปกติปริมาณการผลิตเอทิลีนจะมีน้อย แต่เมื่อผลไม้จะสุกหรือเมื่อผลิตผลถูกกระทบกระเทือนด้วยอะไรก็ตาม เช่น การเกิดบาดแผล การสัมผัสกับความเย็น จะมีการสร้างเอทิลีนขึ้นมากและเอทิลีนจะไปกระตุ้นกระบวนการต่าง ๆ ให้เกิดขึ้นได้ เช่น กระบวนการสุก การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และการหลุดร่วงของดอกและใบ

1.1.4 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของพืชก็มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การสร้าง หรือเสื่อมสลายตัวของสารสี การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การเพิ่มขึ้นของปริมาณลิกนินในผลิตผลที่มีเส้นใยมากเป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ล้วนนำไปสู่การสูญเสียของผลิตผลทางใดทางหนึ่งด้วยกันทั้งสิ้น

1.1.5 การพัฒนาและการเจริญเติบโตของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

ผลิตผลบางชนิดเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วยังมีการพัฒนา มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เช่น การงอกของมันฝรั่ง มันเทศ หอม และกระเทียม การเจริญเติบโตดังกล่าวต้องใช้อาหารที่มีสะสมอยู่จึงทำให้ผลิตผลเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น ผลิตผลบางอย่าง มีการตอบสนองต่อแสงและแรงโน้มถ่วงของโลกด้วย เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ถ้าวางในลักษณะนอนราบจะโค้งงอขึ้น ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จัดได้ว่าเป็นการสูญเสียผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกัน

1.2 ปัจจัยภายนอก

1.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการชีวเคมีภายในผลิตผลทุกอย่าง อุณหภูมิสูงจะเร่งปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ ให้เกิดเร็วขึ้น นำมาซึ่งอัตราการหายใจและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่น ๆ ภายในผลิตผลก็จะเกิดได้เร็วขึ้น ทำให้ผลิตผลเสียหายได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำจะทำให้ผลิตผลสามารถเก็บรักษาไว้ในสภาพเดิมได้นานกว่า แต่ในบางกรณีอุณหภูมิต่ำก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ โดยเฉพาะกับผลิตผลในเขตร้อนอาจเกิดอาการผิดปกติที่เรียกกันว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ขึ้นได้ นอกจากนั้นอุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนผลิตผลและปริมาณความชื้นของอากาศรอบผลิตผลด้วย ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะรักษาผลิตผลให้มีคุณภาพดีอยู่ได้นานที่สุด

1.2.2 ความชื้น

ปริมาณไอน้ำในอากาศนอกจากจะเป็นตัวกำหนดอัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผลแล้ว ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ด้วย เช่น ในสภาพประกอบ มีความชื้นสูงจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการงอกขึ้นในหอมและกระเทียม นอกจากนั้นเชื้อราชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่บนผิวของผลิตผล ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพประกอบ มีความชื้นสูง ทำให้ผลิตผลเน่าเสียได้ง่าย การเก็บรักษาจึงต้องมีการควบคุมปริมาณความชื้นให้พอเหมาะ ไม่ให้มีการสูญเสียน้ำจากพืชมากเกินไป แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องไม่ให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ

1.2.3 องค์ประกอบของบรรยากาศ

ในการเก็บรักษาถ้ามีปริมาณออกซิเจนต่ำช่วยลดอัตราการหายใจและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ แต่ถ้าออกซิเจนน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิดการสร้างเอทิลแอลกอฮอล์ ชและทำให้ผลิตผลเสียหายได้

1.2.4 แสงและแรงโน้มถ่วง

กรณีตัวอย่างของแสงสว่างที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลผลิตมันฝรั่ง พบว่าในสภาพการเก็บรักษาที่มีแสงจะส่งเสริมการสร้างคลอโรฟิลล์ ทำให้มันฝรั่งมีสีเขียวและมีการสะสมของสารพิษเกิดขึ้นซึ่งเป็นอันตรายกับผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผักรับประทานใบในสภาพประกอบ มีแสงจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ และสำหรับแรงโน้มถ่วงจะทำให้ผลิตผลบางอย่างโค้งงอได้

2. แนวทางการปฏิบัติเพื่อลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว

การลดความสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวจำเป็นจะต้องพยายามลดอัตราการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับผลิตผล โดยการควบคุมปัจจัยภายนอกทุก ๆ อย่างเท่าที่จะทำได้ ที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นในการเก็บรักษา ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะขาดไม่ได้ ส่วนวิธีการอื่น ๆ นอกจากนั้น เช่น การปรับแต่งบรรยากาศ การเคลือบผิว การใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเป็นวิธีการเสริมที่ควรปฏิบัติเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แต่วิธีการเหล่านี้ไม่สามารถใช้เป็นวิธีการทดแทนการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ ตัวอย่างแนวปฏิบัติเพื่อการลดการสูญเสียผลผลิต มีดังนี้ (ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2548 : 114-118 ; จริงแท้ ศิริพานิช, 2549 : 6-9 และ ดนัย บุณยเกียรติ, 2556 : 271-272)

2.1 การชะลอการสุกของผลไม้

ในบางกรณีมีความจำเป็นต้องชะลอการสุกของผลไม้ก็จะสามารถใช้สารและวิธีการดังต่อไปนี้

2.1.1 การเคลือบผิว

การใช้สารเคลือบผิวกับผลไม้ทำให้คงความสดของผลไม้ เนื่องจากสารเคลือบผิวช่วยลดอัตราการคายน้ำออกจากผิวของผลและลดอัตราการหายใจ นอกจากนี้ยังทำให้ผิวของผลไม้มีความมันวาวสวยงาม และสามารถป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวทำให้เกิดการลดอัตราแลกเปลี่ยนก๊าซภายในและภายนอกผล ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในผลลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ มีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นภายในผล การเก็บรักษาผลไม้ที่ผ่านการเคลือบผิวไว้ในสภาพอุณหภูมิสูงหรือเก็บรักษานานเกินไปจะทำให้เกิดขบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น ทำให้เกิดเอทานอลซึ่งเป็นผลิตผลที่เกิดจากขบวนการดังกล่าวสะสมในผล ทำให้คุณภาพและรสชาติเสียไป สารเคลือบผิวจากธรรมชาติ ได้แก่ คาร์นูบาร์ (carnauba wax) ยางไม้ (resin) ขี้ผึ้ง เชลแล็ค และไคโตซาน สารเคลือบผิวที่จากปิโตรเลียม ได้แก่ พาราฟินแว็กซ์ (paraffin wax) พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (polyethylene wax) และ พอลิเอทิลีน ไกลคอล (polyethylene glycol)

2.1.2 การใช้สารจิบเบอเรลลิน

รายงานการทดลองของสมบูรณ์ ศิริอธิวัฒน์ (2532) พบว่าสารจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 ppm สามารถชะลอการสุกและยังลดการแตกของผลทุเรียนได้ และทางหน่วยวิจัยพืชผลหลังเก็บเกี่ยวและภาควิชาพืชสวนได้ทดลองซ้ำพบว่าจิบเบอเรลลินเพียง 40 ppm ก็เพียงพอที่จะยับยั้งการแตกของผลทุเรียนได้ถึง 8 วัน แต่อาจเร็วกว่านี้ถ้าผลทุเรียนแก่มากแล้ว

2.1.3 การใช้สารดูดซับเอทิลีน

ด่างทับทิม (potassium permanganate; $KMnO_4$) สามารถทำลายแก๊สเอทิลีนที่ผลิตผลปล่อยออกมา โดยเมื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สเอทิลีนจะได้เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) แมงกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide) และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$KMnO_4 + C_2H_4 \longrightarrow MnO_2 + KOH + CO_2 + H_2O$$

ปัจจุบันมีการใช้ด่างทับทิมในเชิงพาณิชย์เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ระหว่างการขนส่งโดยผลิตออกมาจำหน่ายแบบสำเร็จรูปซึ่งพร้อมที่จะใช้ได้ทันที การใช้ด่างทับทิมรูปผลึกโดยตรงจะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้ง่าย จึงต้องนำมาทำละลายด้วยน้ำแล้วใช้วัสดุที่มีความพรุนสูงเป็นตัวดูดซับ เช่น ซีไลท์ (celite) เวอร์มิคิวไลท์ (vermiculite) หรือ อะลูมินาเพลเลท (alumina pellet) อัตราส่วนการใช้คือด่างทับทิม 2 กรัม/ผลไม้ 1 กิโลกรัม

2.1.4 การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับแก๊สเอทิลีน แต่ไม่อาจกระตุ้นให้ผลไม้สุกได้ ดังนั้นจึงมีผลยับยั้งแก๊สเอทิลีนในลักษณะที่เข้าไปแก่งแย่งกับแก๊สเอทิลีน ทำให้แก๊สเอทิลีนเข้าไปกระตุ้นการสุกไม่ได้ การใส่ผลไม้ในภาชนะปิดสนิทจะทำให้มีการสะสมคาร์บอนได ออกไซด์จากการหายใจ จนกระทั่งสูงพอที่จะยับยั้งการสุกได้ อย่างไรก็ตามผลไม้อยู่ในสภาพประกอบ มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเป็นเวลานานจะเกิดผลเสียขึ้น เช่นรสชาติของผลไม้เปลี่ยนไป เนื่องจากเกิดการหายใจโดยไม่ใช้แก๊สออกซิเจน เป็นต้น

2.1.5 การเก็บในอุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาผลไม้ไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีลดลง โดยลดอัตราเมแทบอลิซึมภายในผลไม้จึงชะลอการสุกของผลไม้ได้

3. การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว

การควบคุมโรคภายหลังการเก็บเกี่ยวนั้นสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการเดียวกับการป้องกันโรค โดยการจัดการให้ผลผลิตคงความสมบูรณ์แข็งแรง ยากต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ การทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณน้อยลงหรืออ่อนแอลง และการจัดสภาพการเก็บรักษาให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถแยกเป็นแนวทางปฏิบัติได้ 3 วิธี คือ การควบคุมทางกายภาพ การใช้สารเคมี และการควบคุมโรคด้วยชีววิธี ดังนี้ (ดนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548 : 89-92 และ ดนัย บุณยเกียรติ, 2549 : 62-69)

3.1 การควบคุมทางกายภาพ

3.1.1 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

อุณหภูมิและความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเกิดโรคของผลิตผล อุณหภูมิต่ำทำให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อย สามารถคงความสดและแข็งแรงอยู่ได้นาน ในขณะเดียวกันก็ชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ ดังนั้นการเก็บรักษาจึงควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลงมากที่สุด เพื่อให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมสภาพน้อยที่สุดโดยไม่เกิดอันตรายจากอาการสะท้านหนาวขึ้น สำหรับผลิตผลในเขตร้อนหลายชนิดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดนี้มักอยู่ประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส ซึ่งผลิตผลยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ค่อนข้างมาก และเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ก็ยังคงสามารถเจริญเติบโตได้ ดังนั้นการเก็บรักษาภายใต้สภาพประกอบ มีอุณหภูมิต่ำอย่างเดียวจึงยังไม่เพียงพอ แต่ก็เป็นสิ่งสำคัญที่สุด (ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2548 : 89-92)

3.1.2 การดัดแปลงบรรยากาศ

เชื้อจุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตมีการหายใจเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผลมีองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไป ย่อมส่งผลถึงการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และความสามารถในการทำให้เกิดโรคบนผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเปลี่ยนแปลงไปด้วย

3.1.3 การฉายรังสี

การฉายรังสีเป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) หรือแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing) ชนิดและแหล่งของรังสีที่ใช้เพื่อการฉายรังสีอาหาร ได้แก่ รังสีแกมมาจากเครื่องฉายรังสีที่มีโคบอลต์-60 (cobalt- 60) หรือซีเซียม-137 (cesium-137) รังสีเอกซ์จากเครื่องผลิตรังสีเอกซ์ที่ทำงานด้วยระดับพลังงานที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ รังสีอิเล็กตรอนจากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน (electron accelerator) ที่ทำงานด้วยระดับพลังงานที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ตัวอย่างการฉายรังสีเพื่อการถนอมอาหาร ได้แก่ การควบคุมการงอกของพืชหัวในระหว่างการเก็บรักษาพืชหัว เช่น หอมหัวใหญ่ กระเทียม มันฝรั่ง ขิง โดยทั่วไปอาจจะงอกระหว่างการเก็บ ทำให้สูญเสียน้ำหนัก ฝ่อลีบ สูญเสียสารอาหาร กลิ่นรส หรือเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของอาหาร การฉายรังสีปริมาณไม่เกิน 0.15 กิโลเกรย์ จะหยุดการเจริญเติบโตของเซลล์ที่ทำให้เกิดการงอก ทำให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้นานหลายเดือน การเก็บรักษาด้วยการแช่เย็น (cold storage) ร่วมกับการฉายรังสี จะช่วยทำให้การเก็บรักษาคุณภาพผลผลิตได้ดียิ่งขึ้น การฉายรังสีสามารถชะลอการสุกของผลไม้ เช่น มะม่วง กล้วย ชะลอการบานของเห็ด ทำให้การจำหน่ายมีระยะเวลานานขึ้น นอกจากนี้การฉายรังสียังสามารถควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลง ซึ่งรังสีสามารถกำจัดแมลงได้หลายชนิดและหลายระยะ เช่น แมลงวันผลไม้ รวมทั้งไข่แมลง ดักแด้ ตัวหนอน ที่อาจติดมากับผลิตผลทางการเกษตร เช่น มะม่วง

เมล็ดธัญพืช ข้าว ข้าวสาลี ถั่วเมล็ดแห้ง รวมทั้งอาหารแห้ง เช่น ปลาแห้ง หอมแห้ง หอมผง เครื่องเทศ เครื่องปรุงรส ชนิดผง ทำให้หยุดการขยายพันธุ์ได้ รังสี 2-3 กิโลเกรย์ สามารถทำลายแบคทีเรียที่เป็นเชื้อก่อโรคทางเดินอาหาร เช่น *Salmonella* spp. *Campylobacter* spp. และหนอนพยาธิ ต่าง ๆ (โกวิทย นุชประมูล และคณะ, 2557 ; คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559 : 192-194 และดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2548 : 234) โดยมีประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่อง อาหารฉายรังสี ลงวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2553 ได้กำหนดปริมาณรังสีดูดกลืนสูงสุดที่อนุญาตสำหรับวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ไว้ดังตาราง 8.1

ตาราง 8.1 ปริมาณรังสีดูดกลืนสูงสุดที่กระทรวงสาธารณสุขอนุญาตสำหรับการฉายรังสีตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ

วัตถุประสงค์ของการฉายแสง	**ปริมาณรังสีดูดกลืน (กิโลเกรย์)**
ยับยั้งการงอกระหว่างการเก็บรักษา	1
ชะลอการสุก	2
ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลง	2
ลดปริมาณปรสิต	4
ยืดอายุการเก็บรักษา	7
ลดปริมาณจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	10

ที่มา : กระทรวงสาธารณสุข (2553)

3.2 การใช้สารเคมีในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว

วัตถุประสงค์ของการใช้สารเคมีเพื่อควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวโดยหลักจะเป็นเป็นการใช้สารออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ประเภทเชื้อรา เช่น สารออโธ-ฟีนิลฟีนอล (ortho-phenylphenol) ป้องกันการเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Geotrichum* และ *Rhizopus* ซึ่งมักจะเกิดกับมะเขือเทศ สารไบฟีนิล (Biphenyl) ใช้ป้องกันการสร้างสปอร์ของเชื้อราสำหรับผลผลิตพืชตระกูลส้ม สารไดคลอแรน (dichloran) ใช้ควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizopus stolonifer* นิยมใช้กับเชอรี่ ท้อและผลไม้เมล็ดแข็งชนิดต่าง ๆ และสารกลุ่มเบนซิมิดาโซล (benzimidazole)

สามารถป้องกันการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Penicillium* และเชื้อราชนิดอื่น ๆ บนผิวของผลไม้ นอกจากนี้ยังมีสารเคมีอีกหลายชนิดที่มีคุณสมบัติยับยั้งจุลินทรีย์บนผลผลิตทางการเกษตร แต่ปัจจุบันพบว่าจุลินทรีย์สามารถพัฒนาให้ต้านทานสารเคมีเหล่านี้ได้มากขึ้น และการใช้สารเคมีมักไม่เป็นที่ยอมรับในบางประเทศ (ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2548 : 162-163 และ ดนัย บุณยเกียรติ, 2549 : 46-50)

3.3 การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวด้วยชีววิธี

ในปัจจุบันการผลิตไม้ผลทั้งในและต่างประเทศได้มุ่งเน้นให้มีระบบการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตผลที่มีความปลอดภัยต่อทั้งผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ระบบการปลูกไม้ผลแบบปลอดสารพิษจึงถูกส่งเสริมให้มีการปฏิบัติในวงกว้าง ด้วยเหตุนี้การจัดการโรคพืชโดยชีววิธีจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนหรือลดปริมาณการใช้สารเคมีให้น้อยลงโดยใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์เป็นตัวควบคุมโรค (biocontrol agent) กลไกในการเข้าทำลายเชื้อสาเหตุโรคพืชของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์มีหลายรูปแบบดังนี้คือ การเป็นปรสิต (parasitism) การสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiosis) การผลิตเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อโรคพืช (production of cell wall degrading enzyme) การแข่งขันเพื่อครอบครองพื้นที่และอาหาร (competition for nutrients and space) และการชักนำให้พืชมีความต้านทานโรค (induction of disease resistance in plant) ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้มักมีหลายกลไกร่วมกันในการควบคุมโรคพืช (ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2548 : 166-169)

สำหรับการใช้จุลินทรีย์ควบคุมโรคภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ ส่วนมากนิยมใช้เชื้อยีสต์และแบคทีเรียเป็นตัวควบคุมโรคมากกว่าเชื้อรา เพราะเชื้อยีสต์หลายชนิดที่ไม่ทำลายเนื้อเยื่อพืชหรือไม่ทำให้พืชเป็นโรค รวมทั้งไม่สร้างสารพิษลงบนผักผลไม้และมีคุณสมบัติในการดึงอาหารได้ดี เชื้อยีสต์ที่มีการนำมาใช้ในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลมีหลายชนิด ได้แก่ *Debaryomyces* spp. *Endomycopsis* spp. *Candida* spp. *Cryptococcus* spp. *Pichia* spp. *Aureobasidium pullulans, Saccharomycopsis fibuligera, Rhodosporidium* spp. และ *Rhodotorula glutinis* ในขณะที่เชื้อแบคทีเรียก็จะมีสายพันธุ์เฉพาะที่ไม่ก่อให้เกิดโรคกับพืช พร้อมกับมีคุณสมบัติในการยับยั้งโรคไม่ให้เกิดขึ้นในผลิตผลทางเกษตร ส่วนมากจัดอยู่ในสกุล *Pseudomonas* และ *Bacillus* จึงค่อนข้างมีความปลอดภัยในการที่จะนำเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้มาใช้กับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรอการบริโภค จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวมักใช้ร่วมกับตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ หรือวิธีการอื่น ๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการควบคุมโรคให้สูงขึ้น เป็นการเสริมภูมิต้านทานกับพืช เช่น ใช้ร่วมกับการจุ่มน้ำร้อนหรือจุ่มในสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ โดยพบว่าการฉีดพ่นผลกล้วยด้วยเชื้อยีสต์แล้วตามด้วยการจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หรือจุ่มในสารเคมีไธอะเบนดาโซล 150 ppm สามารถช่วยลดการเกิดโรคขั้วหวี

เน่าได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการเก็บรักษาไว้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงก็เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเช่นเดียวกัน (วีระณีย์ ทองศรี, 2555 : 5-6)

สรุป

ชีวเคมีทางการเกษตรเป็นการประยุกต์ความรู้ทางชีวเคมีเพื่ออธิบายระบบและกลไกการทำงานต่าง ๆ ของพืช การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชจะถูกควบคุมด้วยฮอร์โมนพืช โดยฮอร์โมนออกซิจะมีฤทธิ์กระตุ้นการแบ่งเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ การแตกหน่อ และการสร้างรากไซโตไคนินผลกับการแบ่งเซลล์และการแตกหน่อ ช่วยชะลอการแก่ตัวของเนื้อเยื่อและช่วยในการเคลื่อนย้ายออกซินภายในพืช กรดแอบไซซิกจะออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชทนต่อสภาวะเครียดต่าง ๆ ได้ดี และมีบทบาทในการเจริญพัฒนาของเอ็มบริโอซึ่งรวมไปถึงการพักตัวของเมล็ดและของตาพืช จิบเบอเรลลินจะช่วยส่งเสริมการออกดอก การแบ่งเซลล์ และการเติบโตของเมล็ดหลังการงอก และเอทิลีนช่วยควบคุมกระบวนการเติบโตที่เกี่ยวข้องกับความชรา การหลุดร่วงของใบ ดอก และผล และควบคุมการเจริญของพืชเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ชีวเคมีทางการเกษตรยังช่วยพัฒนาเป็นเทคโนโลยีเพื่อการผลิตพืช การปรับปรุงพันธุ์พืช การอนุรักษ์พันธุ์พืช โดยมีเทคโนโลยีการการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นจุดเชื่อมต่อของการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและการวิจัยทางพันธุวิศวกรรม และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของอุตสาหกรรรมสินค้าการเกษตร จึงถือได้ว่าองค์ความรู้ทางชีวเคมีนั้นได้สร้างประโยชน์มากมายต่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมของการเกษตร

คำถามท้ายบท

1. เมื่อตัดปลายยอดของต้นไม้ออก จะพบว่าตาที่อยู่ด้านข้างจะแตกกิ่งมากมายจนเป็นพุ่ม เป็นผลของฮอร์โมนพืชชนิดใด
2. ส่วนไหนของพืชที่ตอบสนองต่อออกซิน แต่ไม่ตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน
3. ฮอร์โมนพืชชนิดใดเกี่ยวข้องกับการยืดขนาดของเซลล์ (cell elongation) บริเวณปลายยอด
4. จงบอกเหตุผลและความจำเป็นที่จะต้องใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช พร้อมยกตัวอย่างพืชที่มีการใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
5. ในการเพาะเลี้ยงเนื้อพืช สารที่นิยมใช้เพื่อกระตุ้นให้มีการแบ่งเซลล์ เพิ่มจำนวนเป็นแคลลัส คือสารใด
6. พืชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะมีลักษณะที่แตกต่างจากการเพาะเมล็ดอย่างไร
7. การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว มีการเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างไรบ้าง จงยกตัวอย่าง
8. หากผลิตผลผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว อยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนไม่เพียงพอจะเกิดผลอย่างไร
9. จงยกตัวอย่างของการควบคุมโรคในผลิตผลผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวที่สามารถทำได้ง่ายและไม่ต้องลงทุนสูงมาก 2 วิธี
10. การฉายรังสีเพื่อควบคุมโรคนิยมทำในผลิตภัณฑ์การเกษตรชนิดใดบ้าง จงยกตัวอย่าง 5 ชนิด

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559). **เอกสารคำแนะนำที่ 4/2559 การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.** กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย

กระทรวงสาธารณสุข. (2553). **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง อาหารฉายรังสี** ลงวันที่ 14 กันยายน 2553.

โกวิทย นุชประมูล ยุทธพงศ ประชาสิทธิศักดิ์ สาวพงศ เจริญ และสุรศักดิ์ สัจจบุตร. (2557). **อาหารฉายรังสี.** สืบค้นวันที่ 12 มิถุนายน 2560, จาก สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียรแหงชาติ (องคการมหาชน). เว็บไซต์: https://www.tint.or.th/index.php/th/

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2559). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดนัย บุณยเกียรติ. (2549). **โรคหลังเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้.** กรุงเทพฯ: โอ. เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์

_____ . (2556). **สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน.** นนทบุรี: พรีเมี่ยม ดิจิตอล เอ็นเตอร์เทนเม้นท์.

ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). **การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โอ. เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

นภา ศิวรังสรรค์. (2557). **ชีวเคมีประยุกต์.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพ็ญพิชญา เตียว. (2557). **มาเพาะเลี้ยง เนื้อเยื่อกันเถอะ ต้นทุนแค่..หลักร้อยไม่ใช่ล้าน.** สืบค้นวันที่ 2 มิถุนายน 2560, จาก ไทยรัฐ เว็บไซต์: https://www.thairath.co.th/content/456692

ภาคภูมิ พระประเสริฐ. (2550). **สรีรวิทยาของพืช.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

มานี เตื้อสกุล. (2542). **สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช: ไซโตไคนิน.** สงขลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ และสุรียา ตันติวิวัฒน์. (2552). **สรีรวิทยาของพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราภรณ์ ภูตะลุน. (2557). **เทคโนโลยีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสมุนไพร: จากพื้นฐานสู่การประยุกต์ใช้ทางเภสัชศาสตร์.** ขอนแก่น: ขอนแก่นพิมพ์พัฒนา.

วันทนี สว่างอารมณ์. (2542). **การเจริญและการเติบโตของพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

วีระณีย์ ทองศรี. (2555). **การควบคุมโรคของไม้ผลก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวโดยชีววิธี.** จดหมายข่าว Postharvest Newsletter, ศูนย์สนเทศทางการเกษตรแห่งชาติ ศูนย์ประสานงานสารนิเทศ สาขาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 11 (2): 5-6.

ศิวพงษ์ จำรัสพันธุ์. (2546). **การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช.** คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏอุดรธานี.

สมบูรณ์ ศิริอธิวัฒน์. (2532). **ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดต่อการสุกและการแตกของผลทุเรียนพันธุ์ชะนี.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมพร ประเสริฐส่งสกุล. (2552). **การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกับการปรับปรุงพันธุ์พืช.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โฟร์เฟซ.

สิริภัทร์ พราหมณีย์. (2558). **เทคนิคการเพาะเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อพืช เพื่อการขยายและปรับปรุงพันธุ์.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อารีย์ วรัญญูวัฒก์. (2541). **การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อปรับปรุงพันธ์พืช.** นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Davière, J.M., Achard, P. (2013). **Gibberellin signaling in plants.** Development. 140(6): 1147-1151.

Glick, B.R. (2012). **Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications.** Scientifica (Cairo). 2012: 963401. 1-15.

Gray, W.M. (2004). **Hormonal regulation of plant growth and development.** PLoS Biol. 2(9): e311. 1270-1273.

Grennan, A.K. (2006). **Gibberellin metabolism enzymes in rice.** Plant Physiol. 141(2): 524–526.

Gupta, R. and Chakrabarty, S. K. (2013). **Gibberellic acid in plant : Still a mystery unresolved.** Plant Signal Behav. 1; 8(9): e25504. 1-5.

Hedden, P. and Sponsel, V. (2015). **A Century of gibberellin research.** J Plant Growth. Regul. 34: 740–760.

Ikeuchi, M., Ogawa, Y., Iwase, A., and Sugimoto, K. (2016). **Plant regeneration: cellular origins and molecular mechanisms.** Development. 143: 1442-1451

Kiba, T., Takei, K., Kojima, M. and Sakakibara, H. (2013). **Side-chain modification of cytokinins controls shoot growth in *Arabidopsis*.** Developmental Cell. 27, 452–461.

Kieber, J.J. (2002). **Tribute to folke skoog: Recent advances in our understanding of cytokinin biology.** Journal of Plant Growth Regulation 21, 1-2

Kieber, J.J., and Schaller, G.E. (2010). **The Perception of cytokinin: AdStory 50 years in the making.** Plant Physiol. 154(2): 487-492.

Koning, R. E. (1994). **Cytokinins.** Retrieved April 7, 2017, from Plant Physiology Information Website. Available URL: http://plantphys.info/plant_physiology/cytokinin.shtml

Liu, M., Gomes, B.L., Mila, I., Purgatto, E., Peres, L.E.P., Frasse, P., Maza, E., Zouine, M., Roustan, J.P., Bouzayen, M., Pirrello, J. (2016). **Comprehensive Profiling of Ethylene Response Factor Expression Identifies Ripening-Associated ERF Genes and Their Link to Key Regulators of Fruit Ripening in Tomato.** Plant Physiology. 170(3): 1732-1744.

Max Planck Society. (2013). **The secret of short stems.** Retrieved April 10, 2017, from MPI f. Plant Breeding Research. Available URL: https://phys.org/news/2013-11-secret-short-stems.html

Merchante, C., and Stepanova, A.N. (2017). **The Triple response assay and its use to characterize ethylene mutants in *Arabidopsis*.** Methods Mol Biol. 1573: 163-209.

Olszewski, N., Sun, T., Gubler, F. (2002). **Gibberellin signaling: Biosynthesis, catabolism, and response pathway.** The Plant Cell.14; Suppl: S61-80.

Sabatini, S., Beis, D., Wolkenfelt, H., Murfett, J., Guilfoyle, T., Malamy, J., Benfey, P., Leyser, O., Bechtold, N., Weisbeek, P., and Scheres, B. (1999)**. An auxin-dependent distal organizer of pattern and polarity in the *Arabidopsis* root.** Cell. 99(5): 463-472.

Tissue Culture of Plants. (n.d.). **What is tissue culture?** Retrieved April 10, 2017, from Tissue Culture of Plants blogspot. Available URL: http://tissueculture ofplants.blogspot.com/p/tissue-culture.html

Wang, K.L.C., Hai, Li., and Ecker, J.R. (2002). **Ethylene biosynthesis and signaling networks.** Plant Cell. 14(Suppl): s131–s151.