บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะม่วงเป็นไม้ผลเขตร้อนที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในทุกภาคของประเทศไทย มะม่วงมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* Linn. (วิจิตร, 2529)

มะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นมะม่วงพันธุ์ใหม่ที่เกิดจากการผสมระหว่างมะม่วงพันธุ์ซันเซท และมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน ซึ่งทำให้มะม่วงพันธุ์มหาชนกมีคุณสมบัติร่วมมะม่วงทั้ง 2 สายพันธุ์ จึงทำให้มีความโดดเด่นกว่ามะม่วงที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะคุณภาพในการรับประทานสุก โดยมีรสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอมเฉพาะตัว และมีสีของผลสวยงาม (พานิชย์ , 2545) มะม่วงสายพันธุ์นี้มีประวัติและความเป็นมา คือ เมื่อปี พ .ศ. 2529 คุณเดช ทิวทอง ได้นำเอาผลของมะม่วงพันธุ์ซันเซท (Sunset) จำนวนทั้งหมด 5 ผล จากสวนมะม่วงของอาจารย์ประพัฒน์ สิทธิสังข์ ณ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ โดยเมื่อรับประทานแล้วได้นำเมล็ดไปเพาะและได้ต้นกล้าจำนวน 2 ต้น จึงได้นำมาลงปลูก ณ สวนทิวทอง บ้านเลขที่ 422 หมู่ที่ 1 ตำบลป่าไผ่ อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน ต่อมาในปี พ.ศ. 2533 มะม่วงที่ปลูกไว้มีด้านหนึ่งที่ออกดอกแต่ไม่ติดผล ส่วนอีกต้นหนึ่งมีลักษณะแตกต่างไปจากพันธุ์ซันเซท คือ มีใบยาวและใหญ่ เจริญเติบโตเร็ว ช่อดอกยาว ติดผลง่าย รูปร่างผลคล้ายคลึงกับพันธุ์หนังกลางวัน แต่ผลเมื่อสุกผิวผลจะสวยเหมือนมะม่วงพันธุ์ซันเซท ผิวมีสีแดงส้ม จนถึงเหลืองทอง เนื้อสีเหลืองอร่าม กลิ่นและรสชาติดี เมล็ดบางมาก ผลโตที่สุดชั่งได้ถึง 850 กรัม จากนั้นจึงได้มีการขยายพันธุ์เพิ่มขึ้นมาก ปัจจุบันต้นแม่พันธุ์นี้ยังคงอนุรักษ์ไว้ ณ ที่เดิม เพื่อเป็นอนุสรณ์สำหรับคุณแม่แย้ม ทิวทอง ซึ่งเป็นผู้ดูแลมะม่วงต้นนี้ตั้งแต่ระยะเริ่มแรก และเพื่อเป็นการเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช เนื่องในพระราชพิธีรัชมังคลาภิเษกและพระราชนิพนธ์หนังสือ “พระมหาชนก” จึงได้ตั้งชื่อต้นมะม่วงพันธุ์ที่ได้ใหม่นี้ว่า “มหาชนก” อันมีความหมายว่า “ต้นตระกูลอันยิ่งใหญ่” เพื่อเป็นสิริมงคลต่อไป (รวี, 2537) จากลักษณะที่โดดเด่นรวมทั้งกลิ่นและรสชาติที่ดี จึงได้มีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้นทุกๆปี และคาดว่าจะเป็นมะม่วงที่น่าสนใจอีกพันธุ์หนึ่งในอนาคตอันใกล้นี้

2.1 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก (รวี และเปรมปรี, 2542 ; ศักดา, 2547)

2.1.1 ใบ มีขนาดใหญ่ หนา ใบอ่อนมีสีแดง ปลายใบแหลม ใบแก่มีสีเขียวเข้มแต่ไม่ดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 ลำต้นและกิ่ง แข็งแรง มีฟุ่มขนาดใหญ่ กิ่งอวบใหญ่ และข้อนูน

2.1.3 ดอก ก้านช่อดอกมีสีแดง ช่อดอกใหญ่ มีดอกสมบูรณ์เพศสูง ดอกออกตามฤดูกาล ช่วงฤดูกาลที่ออกดอกสามารถเหลื่อมล้ำกันได้ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ ทำให้ฤดูกาลเก็บเกี่ยวสามารถขยายได้ยาวนานขึ้น

2.1.4 ผล ทรงผลยาวคล้ายพันธุ์หนังกลางวัน แต่สั้นกว่า ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 350-500 กรัม ผลอ่อนสีเปลือกมีสีเขียวอ่อน เปลือกหนาเนียนเรียบ เนื้อเมื่อดิบมีสีขาวออกเขียว เมื่อแก่เปลือกผลมีสีเขียวและอาจมีสีแดงปรากฏร่วมด้วย เมื่อผลสุกเนื้อมีสีเหลือง เหลืองส้มหรือเหลืองส้มปนแดง เนื้อละเอียดและแน่น มีเส้นใยน้อย ผลเมื่อดิบมีรสเปรี้ยวมาก และมีกลิ่นเฉพาะตัว เมื่อสุกมีรสหวานอมเปรี้ยวไม่หวานจัด เมื่อสุกงอมมีรสหวานจัด มีกลิ่นเฉพาะตัวที่หอมมาก มีปริมาณเนื้อผลที่สามารถนำมาใช้บริโภคได้สูงถึง 79 เปอร์เซ็นต์

2.1.5 เมล็ด มีขนาดเล็กบางมาก

2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตของผลมะม่วง

2.2.1 แบบแผนการเจริญเติบโตของผลมะม่วง

การเจริญเติบโตของผลเริ่มขึ้นหลังจากที่ช่อดอกบานเต็มที่แล้ว ดอกสมบูรณ์เพศที่ได้รับการผสมเกสรจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวขนาดเท่าหัวไม้ขีดไฟ ซึ่งผลขนาดนี้ในช่อหนึ่งจะมีเป็นจำนวน 10 ผลขึ้นไป แต่การผสมที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะแตกต่างกันไป ฉะนั้นผลที่ได้รับการผสมที่ไม่สมบูรณ์ก็จะมีการเจริญเติบโตช้าไม่สามารถที่จะแย่งอาหาร และสารที่จำเป็นต่อการเจริญของผลไว้ได้เพียงพอจนในที่สุดผลอาจร่วงหล่นจนหมด ส่วนผลใดที่ได้รับการผสมที่สมบูรณ์ก็มีการเจริญเติบโตช้าไม่สามารถที่จะแย่งอาหาร และสารที่จำเป็นต่อการเจริญของผลไว้ได้เพียงพอ จนในที่สุดผลอาจจะร่วงหล่นจนหมด ส่วนผลใดที่ได้รับการผสมที่สมบูรณ์ก็จะมีการเจริญเติบโตต่อไป (สนั่น, 2527)

ผลมะม่วงมีการเจริญเติบโตแบบระฆังคว่ำ (single sigmoid curve, S-curve) ในลักษณะเดียวกับการเจริญของเซลล์ เนื้อเยื่อ หรือสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยอัตราการเจริญเติบโตของผลไม่ว่าจะเป็นน้ำหนัก ปริมาตร ความยาว และความกว้างของผลจะมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของผล และจะลดลงเมื่อผลเริ่มแก่จนกระทั่งผลอยู่ในระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งจะมีอัตราการเจริญเติบโตคงที่ จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในผลมะม่วงที่กำลังพัฒนา และการพัฒนาของผลตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่เต็มที่แบ่งการเจริญเติบโตของผลออกได้เป็น 4 ระยะ คือ (วิจิตร, 2529)

2.2.1.1 ระยะ juvenile เป็นระยะที่เปลือกผสมสีเขียว การเจริญเติบโตของเซลล์ของรังไข่เป็นไปอย่างรวดเร็วมีอัตราการหายใจและอัตราการเจริญเติบโตสูง ปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อสูงที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน และกรดเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ อัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนต่ำ

2.2.1.2 ระยะ adolescent เป็นระยะที่เปลือกผลมีสีเขียวแก่ โดยขนาดของผลจะขยายออกโตเต็มที่มีการสร้างกลิ่นและรสธรรมชาติ มีอัตราการหายใจปานกลาง อัตราการเติบโต ปริมาณน้ำและเปอร์เซ็นต์น้ำตาลกลูโคสลดลง ในขณะที่แรงดันออสโมติกและน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้ง กรด และไนโตรเจนยังคงมีปริมาณสูง อัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

2.2.1.3 ระยะ climacteric ระยะนี้สีของเปลือกผลจะเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวแก่เป็นสีเขียวอมเหลือง ซึ่งถือว่าเป็นระยะวิกฤตในการเจริญเติบโตของผล โดยมีอัตราการหายใจต่ำสุด แป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลด้วยอัตราคงที่ ปริมาณกรด และไนโตรเจนลดต่ำลง เมื่อถึงจุดที่เรียกว่า climacteric peak ผลจะมีคุณภาพในการรับประทานสูงสุดและต่อจากจุดนี้ไปแล้วผลจะเริ่มเข้าสู่ระยะการเสื่อมสภาพ (senescence)

2.2.1.4 ระยะ senescence ระยะนี้เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างเด่นชัด ซึ่งเนื้อผลจะค่อยๆอ่อนตัวลง และต่อมาเนื้อเยื่อผลเริ่มสลายตัวในที่สุดจะเน่าตายไป ซึ่งอัตราการหายใจของผลสูงขึ้นแล้วจึงลดลง การเจริญเติบโตของผลไม่เด่นชัด แรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำตาลจะลดลงจนถึงระยะที่ต่ำสุด น้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นและลดลงตามจังหวะการลดลงของการหายใจ (respiratory intensity) ในขณะที่ซูโครสและแป้งลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณกรดและไนโตรเจนในผลลดลง และอัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นพบในมะม่วงหลายๆสายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์น้ำดอกไม้ (ดวงตรา , 2526), พันธุ์เขียวเสวย (เสาวลักษณ์ , 2530), มะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน (วุฒิคุณ , 2530) เป็นต้น ส่วนรูปร่างของผลมะม่วงจะมีความกว้าง ความยาว และความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น โดยมีการเจริญเติบโตแบบ single sigmoid curve (Pantastico, 1975) โดยสามารถดูได้จากภายนอก พบว่าผลมะม่วงเมื่อแก่เพิ่มขึ้นจะมีแก้มผลอูมขึ้น (Mendoza, 1981)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

2.3.1 ขนาดและรูปร่างของผลมะม่วง

ผลมะม่วงเป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ เนื้อผลสามารถใช้รับประทานได้ และเป็นผลเดี่ยว รวมทั้งมีชั้นที่แข็งหุ้มเมล็ดไว้ (Salunkhe and Desai, 1984)

Hulme (1971) อธิบายลักษณะของผลมะม่วงโดยแบ่งผลออกเป็น 3 ส่วน คือ

ก. เอ็กโซคาร์บ (exocarp) เป็นเปลือกผลชั้นนอก มีลักษณะค่อนข้างแข็งและเหนียว มีต่อม

มองเป็นจุด

ข. มีโซคาร์บ (mesocarp) เป็นเนื้อผล ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้รับประทาน ความหนาของเนื้อจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์

ค. เอ็นโดคาร์บ (endocarp) มีลักษณะเป็นเสี้ยนและแข็งคล้ายไม้ ทางด้านในมีลักษณะเป็นแผ่นบางใส

มะม่วงพันธุ์ Dashehari มีการเจริญเติบโตของเมล็ดรวดเร็วกว่าการเจริญเติบโตของผลโดยเจริญเติบโตสูงสุดในสัปดาห์ที่ 10 หลังติดผล หลังจากนั้นจะมีค่าคงที่จนเก็บเกี่ยว (Prakash and Ram, 1984) มะม่วงพันธุ์หนังกลางวันจะมีการเจริญเติบโตเป็นแบบ single sigmoid curve โดยเอ็นโดคาร์บเริ่มแข็งตัวในวันที่ 70 หลังติดผล (วุฒิคุณ , 2530) ส่วนมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เมล็ดจะเติบโตค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ 70 วันหลังติดผล โดยเมล็ดเริ่มแข็งตั้งแต่อายุ 56 วันหลังติดผล (นิพนธ์, 2534) และมะม่วงพันธุ์ทองดำจะมีการเจริญเติบโตของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึง 10 และจะคงที่ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 10 เป็นต้นไปจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (สายชล และคณะ , 2534)

อุษา (2542) ศึกษาการเพิ่มจำนวนชั้นของเซลล์ในเนื้อผลของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 พบว่ามีจำนวนชั้นของเซลล์เพิ่มขึ้นตลอดระยะการเจริญเติบโตของผล โดยเพิ่มทางด้านความหนาของเนื้อผลมากที่สุด รองลงมาคือ ส่วนปลายผล ซึ่งรูปแบบลักษณะการเพิ่มจำนวนชั้นของเซลล์ของผลบริเวณนั้นค่อนข้างเป็นแบบ simple sigmoid curve เช่นเดียวกับการเติบโตของผล นอกจากนี้เซลล์ยังมีการขยายขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นแบบ simple sigmoid curve เช่นกัน ทำให้เกิดการเติบโตของผลมะม่วงเพิ่มขึ้นทั้งทางด้านขนาดและน้ำหนักจนเก็บเกี่ยว ซึ่งเมื่อผลมีอายุมากขึ้นภายในเซลล์จะมีการสะสมเม็ดแป้งมากขึ้นและเม็ดแป้งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผลจึงเกิดขึ้นมากกว่าการเพิ่มทางด้านขนาดผล อย่างไรก็ตามการเติบโตของเมล็ดถูกจำกัดโดยเอ็นโดคาร์บซึ่งในระยะแรกเมล็ดมีการเติบโตช้า ขณะที่เอ็นโดคาร์บขยายตัวได้เร็วกว่าเมล็ดทำให้เกิดช่องว่างภายในรังไข่ เมล็ดจะเติบโตอย่างรวดเร็วประมาณผลอายุ 72-114 วันหลังดอกบานเต็มที่ แต่เอ็นโดคาร์บจะเริ่มแข็งตัวไม่ขยายขนาดอีกเมื่อผลอายุ 114 วันหลังดอกบานเต็มที่ ซึ่งการแข็งตัวนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการหยุดการเติบโตทันทีของเมล็ดที่กำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว ขณะนั้นเมล็ดจะเกิดขึ้นเต็มช่องว่างของเอ็นโดคาร์บ (วิจิตร, 2529)

2.3.2 น้ำหนัก ปริมาตร และความถ่วงจำเพาะ

หลังจากการเพิ่มขนาดของผลที่เพิ่มขึ้นจะมีการลำเลียงน้ำและสารอาหารจากต้นแม่สู่ผลเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะมีการสะสมของแป้งเป็นส่วนใหญ่ทำให้ผลมีน้ำหนัก และปริมาตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงมากกว่า 1.00 ซึ่งในทางปฏิบัติอาจไม่ต้องคำนวณหาความถ่วงจำเพาะของมะม่วงโดยตรง แต่ใช้วิธีการสังเกตจากการจมและการลอยในน้ำ ของผลมะม่วงที่แก่บางพันธุ์นั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 จึงสามารถลอยน้ำได้ ผลมะม่วงที่แก่จะลอยน้ำพบว่ามีช่องว่างระหว่างเมล็ดมากและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกที่แข็งหรือเอ็นโดคาร์บขณะที่ผลแก่จัด ส่วนผลมะม่วงแก่ที่จมน้ำจะมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกน้อย (สายชล, 2533 และ Pantastico, 1975)

2.3.3 ความแน่นเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วง โดยส่วนใหญ่ในช่วงผลอ่อนจนถึงผลแก่จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อลดลงบ้าง ในช่วงผลแก่ โดยมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงหลายๆพันธุ์ ได้แก่ ในมะม่วงพันธุ์ทองดำ เมื่อผลมะม่วงมีอายุ 2 สัปดาห์มีความแน่นเนื้อค่อนข้างต่ำคือ 5.08 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นความแน่นเนื้อจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่จะมีความแน่นเนื้อเท่ากับ 19.26 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สายชล และคณะ , 2534) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ในช่วงผลอ่อนจะมีความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้นความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อผลเข้าสู่ระยะการแก่โดยมีค่าเท่ากับ 25-26.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (นิพนธ์, 2534)

เมื่อผลสุกส่วนเนื้อผลจะนิ่มลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางโมเลกุลต่างๆภายในผนังเซลล์ โดยเฉพาะเพคตินซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของกรดกาแลคตูโรนิค (galacturonic acid) ได้แก่ โมเลกุลของ galactose ซึ่งคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 6 อยู่ในกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxylic group) และอาจมีกลุ่มเมทิล (methyl group) มาเกาะอยู่ด้วย โมเลกุลของเพคตินจะแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลสเช่นเดียวกันกับเฮมิเซลลูโลส แต่ส่วนมากอยู่ในบริเวณระหว่างเซลล์ 2 เซลล์ที่เรียกว่า middle lamella ทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่างๆในผนังเซลล์เข้าด้วยกัน และยังทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงด้วย โดยเพคตินซึ่งอยู่ในรูปของ protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำ การเปลี่ยนแปลงของ protopectin เป็น protein ซึ่งเป็นรูปที่ละลายน้ำได้นี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิดด้วยกัน คือ polygalacturonase (PG) และ pectinesterase (PE) โดย PG จะย่อยโมเลกุลของ polygalacturonic acid ให้สั้นลง ขณะที่ PE จะย่อยเอากลุ่มเมทิลของโมเลกุลของ galacturonic acid ออกมา แต่การเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้อาจยังไม่ถูกต้องอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากโครงสร้างของผนังเซลล์มีความซับซ้อนมาก รวมทั้งในการย่อยสลายผนังเซลล์นี้อาศัยเอนไซม์หลายชนิดในการเร่งปฏิกิริยาและควบคุมกระบวนการนี้ (Kays, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Gomez-Lim (1993) รายงานว่าในช่วงระหว่างการสุกโครงสร้างของผนังเซลล์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง โดยโมเลกุล pectin และ hemicellulose ถูกเอนไซม์บางชนิดย่อยสลายทำให้แรงยึดเกาะกันของโมเลกุลต่างๆลดลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ชั้นมีโซคาร์บด้านใน (inner mesocarp) ของมะม่วงก่อนออกสู่ชั้นมีโซคาร์บด้านนอก (outer mesocarp) (Lazan *et al*., 1986) ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ pectinesterase (PE) ที่พบมากในผลดิบ และเอนไซม์ polygalacturonase (PG) ซึ่งส่วนใหญ่พบในระยะการสุกของผลมะม่วง (Gomeez-Lim, 1993)

2.3.4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักของเนื้อผลมะม่วง

โดยทั่วไปผลมะม่วงเมื่อผลแก่เพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลง และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น (Mendoza, 1981) โดย Litz (1997) รายงานว่าในขณะที่ผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso และ Dashehari จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเก็บเกี่ยวรวมทั้งมีเปอร์เซ็นต์แป้ง ปริมาณน้ำตาล และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตลอดระยะการเจริญเติบโต ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงตลอดการเจริญเติบโต

2.3.5 สีเปลือกและสีเนื้อของผลมะม่วง

การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผล เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกอย่างหนึ่ง ซึ่งสีสันของผลไม้มีความสำคัญมากในการแสดงคุณภาพของผลไม้ประการหนึ่ง สีของผลไม้ที่ปรากฏอยู่นั้นเกิดจากกลุ่มของรงควัตถุ (pigment) ต่างๆที่มีอยู่ในเซลล์พืชโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิด และปริมาณของรงควัตถุตลอดระยะเวลาของการเจริญพัฒนาของผลิตผล แต่ละชนิดรงควัตถุหลักที่พบมากในผลไม้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) มีสีเขียว แคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีสีเหลืองจนถึงสีแดง และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) มีตั้งแต่สีแดงไปจนถึงสีม่วงหรือสีน้ำเงิน ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีรงควัตถุที่สำคัญ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) และแอนโทไซยานิน (anthocynanin) ตามลำดับ (ดนัย, 2540) ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อนั้น สีเนื้อจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น

Pantastico (1975) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสีเนื้อและเปลือกผลมะม่วง พบว่ามีการเปลี่ยนสีเปลือกจากสีเขียวเป็นเหลืองมากขึ้นเมื่อผลมีความแก่เพิ่มขึ้น ซึ่งในมะม่วงพันธุ์ Alphonso และ Pairi ใช้เวลาตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนาน 110-125 วัน ผลแก่จะมีสีผิวเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อนและสีเนื้อเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์ไทย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หลายๆพันธุ์ คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ (ดวงตรา , 2526) มะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน (วุฒิคุณ , 2530 และ อารี, 2536) และพันธุ์ทองดำ (สายชล และคณะ, 2534) เป็นต้น

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

2.4.1 ปริมาณกรด

ขั้นตอนต่างๆของกระบวนการหายใจ ประกอบด้วยโมเลกุลของกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดไพรูวิก (pyruvic acid) และกรดอื่นๆ ดังเห็นได้ในวัฏจักรเครปส์ (Kreb's cycle) แต่กรดที่พบในปริมาณมากในผักและผลไม้มักอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) เป็นต้น โดยกรดซิตริกซึ่งพบมากในผลมะม่วงเกิดจาก acetyl CoA รวมกับกรดออกซาโลอะซิติก (oxaloacetic acid) จนได้กรดซิตริก จากนั้นกรดซิตริกก็จะเปลี่ยนไปเป็นสารตัวอื่นๆในวัฏจักรเครปส์ โดยกรดมักถูกเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลในปริมาณมาก ในช่วงผลอ่อนจะมีการสะสมของกรดมาก เนื่องจากการสะสมกรดเหล่านี้อาจได้มาจากสารตัวกลางในวัฏจักรเครปส์ การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโน และการเคลื่อนย้ายกรดอินทรีย์จากส่วนต่างๆของพืช (Kays, 1991)

ในมะม่วงพันธุ์เคียทท์ (Keitt) จะมีกรดลดลงเมื่อผลมะม่วงแก่เพิ่มขึ้น โดยกรดซิตริกเป็นกรดหลักที่มีปริมาณลดลงมากที่สุดและพบว่ากรดมาลิกมีปริมาณน้อยในช่วงผลแก่ แต่มีปริมาณลดลงมากในช่วงผลสุกสอดคล้องกับที่ Medlicott and Thompson (1985) ได้รายงานว่ากิจกรรมเอนไซม์ malate dehydrogenase เพิ่มขึ้นระหว่างการสุกโดยเกิดในช่วง climacteric peak

2.4.2 ปริมาณน้ำตาล

น้ำตาลในผักและผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucrose) และฟรุกโตส (fructose) ซึ่งพบสะสมอยู่ในแวคิวโอล (vacuole) เป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดในผลิตผลต่างๆแตกต่างกันออกไป บางชนิดมีซูโครสอยู่มากในขณะที่บางส่วนไม่มีซูโครสอยู่เลย ทำให้รสชาติความหวานของผักและผลไม้ต่างชนิดแตกต่างกันไป (จริงแท้, 2544) ซึ่งในการศึกษามักจะรวมน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสเข้าด้วยกันเรียกว่า น้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugars) ในผลไม้ส่วนใหญ่มักมีน้ำตาลกลูโคสมากกว่าฟรุคโตส โดยน้ำตาลกลูโคสได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง (ดนัย, 2534)

วุฒิคุณ (2530) พบว่ามะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids ; TSS) เพิ่มขึ้นโดยมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TSS ในช่วงแรกค่อนข้างน้อย เป็นเพราะมะม่วงมีการสะสมแป้งมากกว่าน้ำตาล แต่เมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นแป้งสลายไปเป็นน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่งผลให้มีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้น ส่วนการสะสมแป้งในช่วงแรกจะทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง เนื่องจากน้ำตาลกลูโคสจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แป้ง

$$\text{Glucose} + \text{Glucose 1-phosphate} + \text{ATP} \xrightarrow{(1)} \text{ADPG} + \text{Ppi} \xrightarrow{(2)} \text{starch} + \text{ATP}$$

1 = เอนไซม์ adenosine diphophate glucose-pyrophosphorylase

2 = เอนไซม์ starch synthase

2.4.3 ปริมาณแป้ง

แป้งมีสะสมอยู่ในผลิตผลภายในเม็ดพลาสติด (plastid) ที่เรียกว่า อะไมโลพลาสต์ (amyloplast) เพื่อเป็นแหล่งอาหารสำรอง ในผลไม้สุกแป้งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลทำให้ผลไม้มีรสหวาน ผลไม้บางชนิดแป้งแทบทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเมื่อผลสุก สำหรับในมะม่วงแป้งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วงแรก เพราะเป็นช่วงที่แป้งบางส่วนถูกใช้ในการเจริญเติบโตของเอมบริโอ (embryo) ในเมล็ดและแป้งจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเมล็ดแข็งตัวและผลมีการเจริญเติบโตช้าลง ปริมาณแป้งจึงถูกนำไปใช้น้อย ดังนั้นปริมาณแป้งจึงมีการสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงเริ่มแก่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน (วุฒิคุณ , 2530) พันธุ์ทองดำ (สายชล และคณะ, 2534) และพันธุ์เขียวเสวย (เสาวลักษณ์ , 2530) ที่พบว่าเซลล์ของผลจะมีการสะสมแป้งมากขึ้น เมื่อเซลล์หยุดการแบ่งเซลล์รวมทั้งมีการใช้น้ำตาลในการสังเคราะห์แป้งทำให้มีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น

2.4.4 รงควัตถุในเปลือกและเนื้อผลมะม่วง

การเปลี่ยนแปลงรงควัตถุเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งเกี่ยวข้องกันกับการเปลี่ยนแปลงของสารสีต่างๆของผลมะม่วง เช่น การสลายของคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และฟลาโวนอยด์ โดยรงควัตถุแต่ละกลุ่มมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.4.4.1 คลอโรฟิลล์ (ดนัย, 2534 ; Gross, 1987)

คลอโรฟิลล์ เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีเขียว ทำหน้าที่เกี่ยวข้องการสังเคราะห์แสงของพืช กระจายตัวอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งพบในส่วนไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ของเซลล์ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงในผลไม้ ส่วนใหญ่มีชนิดของรงควัตถุคลอโรฟิลล์อยู่ 2 ชนิด คือ

คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) จัดว่าเป็นรงควัตถุกลุ่มแรก (primary pigment) ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงโดยตรง ส่วนรงควัตถุชนิดอื่นต้องรับแสงแล้วส่งต่อให้คลอโรฟิลล์เอเรียกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นรงควัตถุเสริม (accessory pigment) ในพืชชั้นสูงทั่วไปจะมีคลอโรฟิลล์เอมากกว่าคลอโรฟิลล์บี ประมาณ 2-3 เท่า คลอโรฟิลล์เอมีการดูดกลืนแสงมากในช่วง 420 และ 600 นาโนเมตร พบรงควัตถุชนิดนี้ในพืชชั้นสูงทุกชนิดและสาหร่ายบางชนิด

โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ประกอบด้วย พอร์ไพริน(porphyrin) ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) 4 วงเรียงตัวเป็นวง และไฟทอล (phytol) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 20 อะตอม มีลักษณะโครงสร้างแบบไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) ส่วนตรงกลางโมเลกุลคลอโรฟิลล์มีธาตุแมกนีเซียมอยู่

คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) เป็นคลอโรฟิลล์ที่มีสีเหลืองอมเขียว ในช่วงการดูดกลืนแสงเท่ากับ 435-643 นาโนเมตร พบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิดและสาหร่ายสีเขียว โดยทั่วไปปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของการพัฒนาของผล

โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา โดยในระหว่างการชราภาพหรือการเสื่อมสภาพของพืช การสลายตัวจะเกิดขึ้นเนื่องจาก (1) สภาพที่เป็นกรดทำให้อะตอมของแมกนีเซียมหลุดออกไปจากส่วนหัวของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ได้สารฟีโอไฟติน (pheophytin) ซึ่งยังมีสีเขียวอยู่ (2) การทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เนส (chlorophyllase) ซึ่งจะพบมากในขณะที่ผลกำลังสุก (Gross, 1987) (3) พันธะคู่ (double bond) ในวงแหวนพอร์ไฟรินถูกทำลายลง ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ปกติจะเกิดร่วมกับการเกิดรงควัตถุชนิดอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งในเนื้อเยื่อพืชทั่วไปนั้นมักจะมีแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินปะปนอยู่ด้วย แต่สีของแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินจะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมา

2.4.4.2 แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีเหลืองจนถึงสีแดงอยู่ภายในเม็ดโครโมพลาสต์ (chromoplast)ในเซลล์พืช แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุเสริมในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยต้องถ่ายทอดพลังงานของแสงที่ได้รับไปให้กับคลอโรฟิลล์เอเพื่อนำไปใช้ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงต่อไป แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) ประกอบด้วย 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แคโรทีน ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีออกซิเจน (oxygen free hydrocarbon) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งมีออกซิเจนรวมอยู่ในโมเลกุลด้วย

การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ คือ isopentenyl pyrophosphate (IPP) ซึ่งสร้างมาจาก mevalonic acid (MVA) หลังจากนั้น IPP จะเปลี่ยนไปเป็น generaylgeranyl pyrophosphate (GGPP)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยจะถูกแคตาไลซ์ (catalysed) ด้วยเอนไซม์ prenyl-transferase และต่อจากนั้น GGPP รวมตัวเป็นโฟโตอีน (photoene) จะผ่านกระบวนการ dehydrogenation ไปเป็นไลโคปีน(lycopene) หลังจากนั้นจะมีการจัดเรียงตัวใหม่เกิดเป็นแคโรทีนชนิดต่างๆโดยกระบวนการ cyclization ของไลโคปีน ส่วนการสังเคราะห์แซนโทฟิลล์จะมีออกซินเจนรวมอยู่ในโมเลกุลโดยการออกซิไดซ์ (oxidize) แคโรทีนในสภาพที่มีออกซิเจนไปเป็นซีเอติน (zeathin) และลูทีน (lutein)

รงควัตถุกลุ่มนี้ที่พบมากได้แก่

ก. เบตา-แคโรทีน (ß-carotene) ช่วงดูดกลืนแสง 425, 450 และ 480 นาโนเมตร พบมากในพืชชั้นสูงทุกชนิดและสาหร่ายมีสีเหลือง สูตรเคมี คือ $C_{40}H_{56}$

ข. อัลฟา-แคโรทีน (α - carotene) ช่วงดูดกลืนแสง 425, 450 และ 475 นาโนเมตร พบมากในพืชส่วนใหญ่และสาหร่ายบางชนิด

ค. ไวโอลาแซนธอล (violaxanthol) ช่วงดูดกลืนแสง 425, 450 และ 475 นาโนเมตร พบมากในพืชชั้นสูง

ง. ฟูโคมแซนธอล (fucoxanthol) ช่วงดูดกลืนแสง 425, 450 และ475 นาโนเมตร พบมากในไดอะตอม และสาหร่ายสีน้ำตาล

จ. ลูทีน (lutein) เป็นแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ที่มีช่วงดูดกลืนแสง 425, 450 และ 475 นาโนเมตร พบมากในสาหร่ายสีเขียว สีแดง และพืชชั้นสูงมีสีเหลือง สูตรเคมี คือ $C_{40}H_{56}O_2$

ฉ. ไลโคพีน (lycopene) เป็นแคโรทีนอยด์ มีสีแดง ซึ่งมีสูตร $C_{40}H_{56}$ พบมากในมะเขือเทศสีแดง

ในผักและผลไม้ทั่วไปมักจะมีรงควัตถุแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ เมื่อผักและผลไม้เสื่อมสภาพลง คลอโรฟิลล์สลายตัวไปทำให้สีของแคโรทีนอยด์จึงปรากฏให้เห็น ถึงแม้แคโรทีนอยด์เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว แต่แคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติค่อนข้างเสถียรกว่ารงควัตถุในกลุ่มคลอโรฟิลล์และแอนโทไซยานินโดยเฉพาะเบตา-แคโรทีนจะมีปริมาณคงตัวมากกว่าตัวอื่น (จริงแท้ , 2544) ดังนั้นรงควัตถุในกลุ่มของแคโรทีนอยด์จะมีการเปลี่ยนแปลงและสลายตัวได้ยาก การสลายตัวของแคโรทีนอยด์จะเกิดขึ้นพร้อมกับการเสื่อมสภาพหรือมีการสะสมสารพิษเมื่อมีอายุมากขึ้น เป็นต้น ซึ่งการสร้างและการสลายตัวของแคโรทีนอยด์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในและภายนอก เช่น ระดับฮอร์โมนพืช แสง ออกซิเจน ปุ๋ย และการปฏิบัติต่อต้นพืช เป็นต้น (ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2544)

2.4.4.3 แอนโทไซยานิน (จริงแท้, 2544 ; Gross, 1987)

เป็นรงควัตถุที่สามารถละลายน้ำได้ (water soluble) พบมากในแวคิวโอลของเซลล์ที่ผิวของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนต่างๆของพืช ซึ่งเป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีแดงไปจนถึงสีม่วงหรือน้ำเงินอยู่ในกลุ่มของรงควัตถุที่มีชื่อว่าฟลาโวนอยด์ โดยจะบดบังสีเขียวของคลอโรฟิลล์และสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ สำหรับแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ของแอนโทไซยานิดิน

การสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานิน (anthocyanin biosynthesis) เริ่มจากการเปลี่ยน phenylalanin (จาก phosphoenol pyruvic acid ที่เข้าสู่ shikimic pathway) มาเป็น cinnamic acid โดยเกิดปฏิกิริยา elimination ของแอมโมเนีย โดยเอนไซม์ phynyalamine ammonialyase (PAL) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นเอนไซม์ cinnamamate-4-hydroxylase จะช่วยเปลี่ยนจาก cinnamamic acid ไปเป็น *p*-coumaric acid จากนั้นเอนไซม์ 4-coumalate-CoA lyase จะเปลี่ยน *p*-coumaric acid เป็น *p*-coumaryl CoA หลังจากนั้น *p*-coumaryl CoA จะรวมกับ malonyl-CoA ได้เป็น chalcone โดยมีเอนไซม์ chalcone synthase ช่วยเร่งปฏิกิริยาซึ่งถือว่าทั้ง *p*-coumaryl CoA และ malonyl-CoA เป็นสารตั้งต้นของ การสังเคราะห์แอนโทไซยานิน จากนั้น chalcone จะถูกเปลี่ยนเป็น flavanone โดยอาศัยเอนไซม์ ช่วยเร่งปฏิกิริยาคือ chalcone isomerase ต่อจาก flavanone จะเกิดปฏิกิริยา glycosylation และ acylation ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามได้เป็น anthocyanin โดยผ่านทาง dihydroflavol ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามได้เป็น anthocyanidin จะรวมตัวกับน้ำตาลเป็นรงควัตถุแอนโทไซยานินชนิดต่างๆ (Gross, 1987)

จริงแท้ (2550) กล่าวว่าชนิดและปริมาณของแอนโทไซยานินในผลไม้แตกต่างกันไปตามชนิดพืช บางพืชมีแอนโทไซยานินเพียงชนิดเดียว เช่น ผลเสาวรส บางพืชมี 2 ชนิด เช่น ผลท้อ บางพืชมีมากกว่า 20 ชนิด เช่น ผลองุ่น ความแตกต่างของชนิดแอนโทไซยานินในผลไม้ขึ้นอยู่กับน้ำตาลที่มาเกาะกับ aglycone (anthocyanidin) หลัก 6 ชนิดด้วยกัน ส่วนใหญ่ได้แก่ cyaniding (55 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ peonidin และ delphindin อย่างละประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วย pelargonidin และ malvidin ประมาณอย่างละ 8 เปอร์เซ็นต์ และ perunidin 6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณของแอนโทไซยานินในผลโดยเฉลี่ยมีประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยผันแปรอยู่ตั้งแต่ 16-400 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนใหญ่พบสะสมในแวคิวโอลของเปลือกหรือผิวของผลไม้ ยกเว้นในพืชบางชนิด เช่น ในผลทับทิม ฝรั่งขี้นก และผลเชอรีที่มีเนื้อสีแดง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินในผลไม้นั้น ส่วนใหญ่พบว่ามีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อผลเข้าใกล้วัยบริบูรณ์หรือแก่ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผลสุกเต็มที่แล้ว สำหรับบทบาทของแอนโทไซยานินในผลไม้เชื่อว่าเพื่อดึงดูดสัตว์ให้เข้ามากินผลไม้แล้ว ช่วยในการแพร่ขยายพันธุ์พืชออกไปเมื่อสัตว์เหล่านั้นคายหรือถ่ายเอาเมล็ดของพืชออกมา

ปัจจัยภายในที่มีผลต่อสีของผลไม้คือ พันธุกรรม ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานินรวมทั้งสารฟลาโวนอยด์อื่นๆ และ pH ส่วนปัจจัยภายนอกก็มีผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างมากต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในผล แสงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเห็นได้ชัดในผลไม้หลายชนิด ผลที่อยู่ด้านในทรงพุ่มมักมีสีแดงน้อยกว่าผลที่อยู่นอกทรงพุ่ม ดังเช่นการทดลองใช้ผ้าพลาสติกคลุมพื้นดินโคนต้นแอปเปิลเพื่อช่วยสะท้อนแสงให้กับผล พบว่าช่วยให้ผลแอปเปิลมีสีแดงขึ้น (Reay and Lancaster, 2001) นอกจากนั้นยังพบด้วยว่าภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วนั้น แสงมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ในผลแอปเปิลการใช้แสงอัลตราไวโอเลตช่วยเพิ่มการสร้างแอนโทไซยานินโดยกระตุ้นเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักของการสังเคราะห์สารในกลุ่ม phenylpropaniod ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่เอนไซม์ที่ควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินโดยเฉพาะ (Wang *et al*., 2000)

สำหรับฮอร์โมนพืชพบว่าเอทธิลีนบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินทั้งในผลและส่วนอื่นๆของพืช โดยพบว่าเอทธิลีนช่วยกระตุ้นให้มีการสร้างเอนไซม์ PAL มากขึ้นในผลไม้หลายชนิด สอดคล้องกับการทดลองของ Layne *et al*. (2002) พบว่าการสังเคราะห์แอนโทไซยานินจากการกระตุ้นด้วยเอทธิลีนนี้จำเป็นต้องใช้แสงช่วย โดยการคลุมโคนต้นด้วยฟิล์มพลาสติกให้สะท้อนแสงให้กับต้นมากขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า metyl jasmonate ช่วยเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในผลแอปเปิล ซึ่งสันนิษฐานว่า metyl jasmonate สามารถช่วยส่งเสริมการรวมตัวระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกับแอนโทไซยานิดิน

2.2 สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulators, PGRs) เป็นสารอินทรีย์โดยไม่จำกัดว่าพืชสร้างขึ้นเองหรือมนุษย์สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งมีอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถกระตุ้น ยับยั้ง หรือเปลี่ยนแปลงสภาพทางสรีรวิทยาของพืชได้ (พีรเดช, 2537)

2.2.1 ข้อจำกัดของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

การใช้ประโยชน์จาก PGRs มีอย่างกว้างขวาง ผู้ใช้สารควรมีความรู้เกี่ยวกับสารนั้นๆ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น โดยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์การใช้สารเหล่านี้มีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงมากพอสมควร พบว่าการใช้สารชนิดเดียวกันกับพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสถานที่ทำให้ผลที่ได้รับแตกต่างกัน จากกรณีนี้เห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมมีผลอย่างมากแต่ไม่ใช่สภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่มีผลต่อการใช้สาร ยังมีปัจจัยอย่างอื่นๆอีกที่เกี่ยวข้อง (พีรเดช, 2537) ดังนี้

2.2.1.1 ชนิดพืช พืชแต่ละชนิดมีระบบกลไกปลีกย่อยแตกต่างกัน การใช้ PGRs สามารถเข้าไปควบคุมกลไกนั้นๆ ในขณะที่สารชนิดเดียวกันนี้ อาจใช้ไม่ได้ผลกับพืชอีกชนิดหนึ่ง หรือแม้กระทั่งพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์อาจตอบสนองไม่เหมือนกัน เช่น การทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้สาร ethephon สามารถเร่งการออกดอกของสับปะรดได้ แต่ไม่จำเป็นเสมอไปว่า สารดังกล่าวจะสามารถเร่งการออกดอกของไม้ผลชนิดอื่นได้ ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นจากการใช้ PGRs กับพืชชนิดหนึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการทดลองกับพืชชนิดอื่นเท่านั้น โดยผลที่เกิดขึ้นไม่จำเป็นต้องเหมือนกับที่คาดหวังไว้

2.2.1.2 ชนิดของสาร สารแต่ละชนิดมีความจำเพาะเจาะจงต่อพืชไม่เหมือนกัน บางชนิดใช้ได้ผลดีกับพืชมากชนิดกว่า เช่น การทดลองใช้สาร ancymidol และ daminozide กับพืช 88 ชนิด พบว่ามีพืชถึง 68 ชนิดที่ตอบสนองต่อการใช้สาร ancymidol แต่มีเพียง 44 ชนิดเท่านั้นตอบสนองต่อการใช้สาร daminozide ถึงแม้สารทั้ง 2 ชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มสารชะลอการเจริญเติบโตเหมือนกันก็ตาม

2.2.1.3 สภาพแวดล้อม มีผลต่อการดูดซึมสาร การสลายตัว และการแสดงผลของสารต่อพืชในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ความชื้นในอากาศสูง ทำให้การดูดซึมสารเป็นไปได้ดีและพืชตอบสนองต่อสารได้มากขึ้น การใช้สารบางชนิดอาจต้องลดความเข้มข้นลงจากปกติ เมื่อใช้สารในขณะที่มีอากาศร้อนจัด เนื่องจากว่าถ้าให้โดยความเข้มข้นปกติอาจก่อให้เกิดพิษขึ้นได้

2.2.1.4 ความสมบูรณ์ของต้นพืช ต้นพืชที่มีความสมบูรณ์สูงย่อมตอบสนองต่อ PGRs ได้ดีกว่าพืชที่อ่อนแอ ซึ่ง PGRs ไม่ได้จัดว่าเป็นปุ๋ยหรืออาหารของพืช ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้เพื่อฟื้นฟูสภาพของต้นไม้ที่โทรมหรืออ่อนแอให้กลับแข็งแรงขึ้นมาได้ การใช้ PGRs ให้ได้ผลดีจึงควรใช้กับต้นที่มีความสมบูรณ์สูงและอยู่ในสภาพพร้อมที่จะตอบสนองต่อสาร เช่น มีอายุมากพอหรือมีอายุที่เหมาะสม เช่น การใช้ ethephon เร่งการออกดอกของสับปะรดจะใช้ได้ผล เมื่อต้นมีอายุไม่ต่ำกว่า 4 เดือน แต่ถ้าใช้สารเมื่อต้นมีอายุ 2 เดือน ปรากฏว่าไม่สามารถเร่งการออกดอกได้

2.2.1.5 ช่วงอายุของพืชหรือช่วงเวลาของการใช้สาร มีความสำคัญมากและเป็นเรื่องยากที่จะกำหนดช่วงเวลาที่แน่นอนว่าเมื่อใดควรให้สาร งานทดลองหลายเรื่องประสบความล้มเหลว เนื่องจากให้สารในช่วงอายุที่ไม่เหมาะสม มีผลทำให้พืชตอบสนองไปในทางที่ไม่ต้องการ

2.2.1.6 วิธีการให้สาร การให้สารแก่พืช ทำได้หลายวิธี เช่น การฉีดพ่น ทา จุ่ม หรือแช่ ซึ่งการเลือกใช้วิธีใดนั้นต้องคำนึงถึงจุดประสงค์ที่ต้องการ ชนิดของสาร และความเข้มข้นของสารเป็นสำคัญ เหตุที่ต้องคำนึงถึงวิธีการให้สาร เนื่องจากสารแต่ละชนิดมีการดูดซึม และเคลื่อนย้ายภายในต้นพืชต่างกัน นอกจากนั้น PGRs ของพืชจะแสดงผลต่อพืชได้ต่อเมื่อมีการเคลื่อนที่จากจุดที่ให้สารไปยังจุดที่จะแสดงผล

2.2.1.7 ปริมาณของสารที่ได้รับ การตอบสนองของพืชที่มีต่อ PGRs ทุกชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ (dose-response) โดยที่เมื่ออยู่ในระดับความเข้มข้นต่ำ การแสดงผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอบสนองของพืชเกิดในแง่กระตุ้นให้มีการตอบสนองเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดก็จะเริ่มมีผลในแง่ยับยั้ง (นพดล, 2542)

ปัจจัยทั้งหมดข้างต้น เป็นส่วนหนึ่งที่อธิบายได้ว่าเหตุใดการ PGRs จึงยุ่งยากกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นๆ และผลจากการใช้ PGRs ก็ไม่คงที่แน่นอนเหมือนกันทุกครั้ง ดังนั้นการใช้ PGRs ให้ได้ผลแน่นอนจำเป็นต้องอาศัยเวลา เพื่อศึกษาผลของสาร และปัจจัยที่เกี่ยวข้องจนกระทั่งได้ข้อสรุป หรือคำแนะนำที่เหมาะสม (พีรเดช, 2537)

การใช้ประโยชน์จาก PGRs เพื่อการผลิตพืชนับวันยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นตามลำดับ เพื่อเพิ่มผลผลิตพืช เพิ่มคุณภาพ และการผลิตพืชนอกฤดู ในปัจจุบันได้มีการนำ PGRs หลายชนิดมาใช้ในการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด โดยเฉพาะออกซิน (auxin) จิบเบอเรลลิน (gibberrellins) และไซโตไคนิน (cytokinin) นอกจากนี้ยังมี PGRs อีกหลายชนิดที่ได้รับความสนใจจากนักวิชาการ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ บราสสิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroids, BRs)

2.3 บราสสิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroids, BRs)

BRs เป็นสารกลุ่มของสารสเตียรอยด์ (steroids) ซึ่งมีปฏิกิริยาเหมือนกับสารบราสสิโนไลด์ (brassinolide) ในการทดสอบโดย bean second internode bioassay

2.3.1. ประวัติการค้นพบ

ในต้นทศวรรษที่ 1970 Mitchell *et al*. ที่ USDA Reseach Center ได้ตรวจสอบสารในละอองเกสรของพืช เพื่อหาสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดใหม่ๆในพืชประมาณ 60 ชนิด พบว่าประมาณครึ่งหนึ่งมีผลให้เกิดการเจริญเพิ่มขึ้นในการทดสอบโดย bean second internode bioassay การเพิ่มการเจริญมีมากที่สุดในละอองเกสรของ alder tree (*Alnus glutinosa* L.) และของ rape plant (*Brassica napus* L.) สารสกัดจากละอองเกสรของพืชทั้งสองทำให้การเจริญนั้นเกิดอย่างรวดเร็วจนทำให้ลำต้นแยกออกเป็นสองส่วนตรงบริเวณเหนือใบคู่ที่สอง จึงได้เสนอว่าเป็น lipodal hormone ชนิดใหม่ และให้ชื่อว่า บราสซิน (brassins)

Mitchell และ Gregory (1972) พบว่าบราสซินมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตพืชความสามารถในการเจริญเติบโตของพืช และความแข็งแรงของเมล็ด (seed vigor)

Grove *et al*. (1979) พบว่าบราสสิโนไลด์ (brassinolide) เป็นสารออกฤทธิ์ของบราสซิน

2.3.2. แหล่งผลิต

BRs นั้นพบในพืชจำนวนมาก ทั้งใบเลี้ยงคู่ ใบเลี้ยงเดี่ยว สน และสาหร่าย มีการค้นพบมากกว่า 60 ชนิด มี 31 ชนิดที่ได้จำแนกลักษณะแล้ว ซึ่งพบว่า 29 ชนิดเป็นสารอิสระและ 2 ชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นสารรูปที่จับกับสารอื่นได้มีการจัดหมายเลขของ BRs ที่พบตามธรรมชาติโดย BR_1 คือ บราสสิโนไลด์ เนื่องจากเป็นสารตัวแรกที่พบในจำนวน BRs ที่พบในธรรมชาตินั้น บราสสิโนไลด์และคาสตาสเตอโรน (castasterone) มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากปฏิกิริยาทางชีววิทยาของมันและจากการที่มันมีอยู่ในพืชทั่วไปๆไปอย่างกว้างขวาง

2.3.3. โครงสร้าง และความสัมพันธ์ในการกระตุ้น

BRs ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติทั้งหมด ทราบว่าได้มาจาก 5-α-cholestan การผันแปรของชนิดและการจัดระเบียบบนโครงสร้างนี้ สามารถแสดงให้เห็นว่ามีผลกระทบต่อการกระตุ้นหรือการออกฤทธิ์ จากการศึกษาในถั่วโดยการประเมินอาศัยข้อปล้องที่หนึ่งและสองในการยืดขยาย (Thompson *et al*., 1981 ; 1982) BRs ชักนำการผลิตเอทธิลีนในถั่วเขียว (Arteca *et al*., 1985 ; 1988) และการประเมินการยืดขยายส่วนลำต้นใต้ใบเลี้ยงของมะเขือเทศและผักกาดหัวนั้น (Sasse, 1991) จะแสดงการออกฤทธิ์หรือการกระตุ้นของ BRs ได้มากน้อยเพียงใดหรือไม่

ส่วนประกอบโครงสร้างโมเลกุล มีดังต่อไปนี้

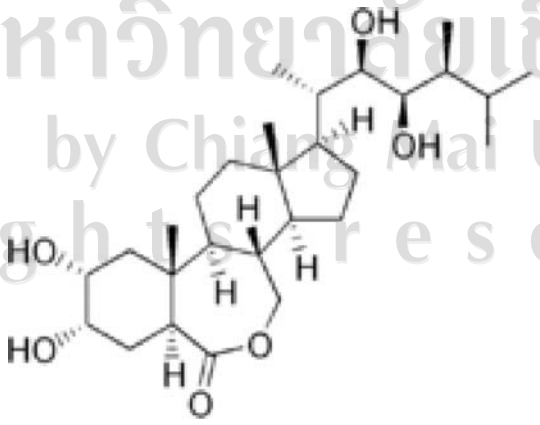
2.3.3.1 เป็นระบบ tran A/B ring (5α -hydrogen)

2.3.3.2 เป็นระบบ 6-ketone หรือ 7-oxa-6- ketone ใน ring B

2.3.3.3 มี cis α-oriented hydroxyl grop อยู่ที่ตำแหน่ง C-2 และ C-3

2.3.3.4 มี cis hydroxyl grop ที่ตำแหน่ง C-22 และ C-23 อีกทั้งมี methyl group หรือ ethyl group อยู่ที่ตำแหน่ง C-24

2.3.3.5 การเรียงตัวในแบบ α-oriented ที่ตำแหน่ง C-22, C-23 และ C-24 จะมีฤทธิ์มากกว่าสารประกอบที่มีการเรียงตัวแบบ ß-oriented



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของ Brassinosteroids, BRs (William, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.4. การทดสอบบราสสิโนสเตียรอยด์

Phaseolus (bean) first internode bioassay : ในการทดสอบนี้ เมื่อให้ออกซินไปที่ปล้องด้านหนึ่งจะทำให้เกิดการโค้งงอหลังจากช่วงเวลาหนึ่ง (lag period) BRs จะช่วยลด lag period เมื่อให้ที่หนึ่งชั่วโมงก่อนให้ออกซิน ดังนั้นเมื่อมีปริมาณ BRs ในตัวอย่างพืชมากขึ้น อาการโค้งงอที่เกิดจาก IAA ก็จะเกิดเร็วขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการโค้งงอของปล้องที่ได้รับ BRs ร่วมกับ IAA กับที่ได้รับ IAA อย่างเดียว ก็จะสามารถหาระดับของ BRs ได้

Oryza (rice) lamina inclination bioassay : เกี่ยวกับการที่ BRs กระตุ้นการโค้งงอของแผ่นใบ ดัชนีการโค้งงอของใบจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของ BRs

Pisum (pea) inhibition test : ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม BRs จะชักนำการยืดตัวและการโค้งงอ ถ้าความเข้มข้นสูงกว่าระดับเหมาะสม BRs จะยับยั้งการเติบโต และกระตุ้นการแยกตัวของเนื้อเยื่อ (splitting of tissue) ระดับของการยับยั้งการยืดตัวจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณ BRs

2.3.5. การเคลื่อนย้าย และการย่อยสลายบราสสิโนสเตียรอยด์

BRs สามารถเคลื่อนย้ายจากรากไปยังต้นของพืชได้ พบว่าเมื่อทำการให้ BRs ที่รากของต้นมะเขือเทศจะเกิดการกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีน ทำให้เกิดอาการผิดปกติที่ใบ (epinasty) จากการศึกษา การเคลื่อนย้ายและการสลายตัวของ (^{3}H) brassinosteroid ในต้นมะเขือเทศ พบว่าพืชย่อยสลาย BRs ไปเป็นรูปที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นผลให้เกิดการลดการสร้างเอทธิลีน

ในขณะนี้รูปแบบของการขนย้ายยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่เมื่อให้ BRs ทางรากกับต้นมะเขือเทศมีการกระตุ้นในการสร้างเอทธิลีนทำให้เกิดการม้วนใบขึ้น (Schlagnhaufer and Arteca, 1985) มีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่า BRs สามารถขนย้ายจากรากไปยังยอดของพืชได้ จึงแสดงให้เห็นว่า เมื่อให้สาร BRs ทางราก พบว่าสาร ACC หรือ1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid หรือสารต้นกำเนิดเอทธิลีนมีอยู่น้อยมาก หรือไม่พบเลยในน้ำเลี้ยงท่อน้ำ จึงชี้ให้เห็นว่ามีสัญญาณหรือ BRs จากรากซึ่งกระตุ้นการสังเคราะห์ ACC ในเนื้อเยื่อใบ ฮอร์โมนอื่นแสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ BRs แก่รากของมะเขือเทศและผักกาดหัวทำให้มีการเพิ่มในการยืดขยายของก้านใบและส่วนลำต้นใต้ใบเลี้ยง เมื่อให้สารนี้ที่ฐานของลำต้นถั่วเขียวที่ตัดจะส่งเสริมการยืดขยายของลำต้นเหนือใบเลี้ยง (Sasse, 1991)

การให้ (^{3}H)BRs แก่รากมะเขือเทศเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปสู่การผลิตสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้นที่ไม่ทราบ 2 ชนิด เมื่อพืชคืนสู่สภาพที่เป็นสารละลายนี้ไม่มีสาร BRs ปริมาณสาร ACC ในเนื้อเยื่อเหล่านี้จะลดลงหลังจาก 24 ชั่วโมงผ่านไป และมีสารอินทรีย์ BRs ที่สร้างขึ้นในพืชนี้จะอยู่ในรูปเฉื่อยเป็นผลให้ลดในการผลิตเอทธิลีน (Schlagnhaufer and Arteca, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.6. ผลทางสรีรวิทยาของบราสสิโนสเตียรอยด์

2.3.6.1 บราสสิโนสเตียรอยด์มีผลต่อการแบ่งเซลล์

จากการศึกษาของ Nakajima *et al*. (1996) ได้ทำการศึกษาผลของ BRs ต่อการแบ่งเซลล์และการสร้างโคโลนีในกะหล่ำปลี (chinese cabbage) พบว่ามีอัตราการแบ่งเซลล์เพิ่มขึ้น

2.3.6.2 บราสสิโนสเตียรอยด์มีผลต่อการขยายขนาด และการยืดยาวของเซลล์

Tominaga *et al*. (1994) ได้ทำการศึกษาในส่วน inner tissue hypocotyls ของ squash พบว่า BRs มีผลต่อความสามารถในการยืดยาวของ new wall component หรือมีการปรับสภาพของ microfibrils ซึ่งการใช้เฉพาะ BRs หรือการใช้ร่วมกับออกซินนั้นสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของ transversely oriented microtubule (Mayumi and Shibaoka, 1995) และยังทำให้มีความต่อเนื่องของ transverse orientation ที่ทำให้เกิด phosphorylation ของ proteins มีความเป็นไปได้ว่า มีความเชื่อมโยงจาก microtubule สู่ plasmalemma ที่ชักนำให้เกิดการขยายตัวได้โดยกระบวนการ proton extrusion และ hyperpolarization ของ cell membrane พบได้ในการขยายตัวในส่วนลำปล้องของข้าว (Cao and Chen, 1995) เร่งปฏิกิริยาของ vascular ATPase (Tominaga and Sakurai, 1996) และลดค่า water potential ของ vascuole ขณะเกิด sugar uptake นอกจากนั้นยังมีการวิเคราะห์ระดับของ BL-sensitive zone และศึกษา BL-induced gene expression ในต้นถั่วพบว่า BRs ที่อยู่ในพืช (endogenous BRs) มีผลโดยตรงในการควบคุมการยืดขยายของเนื้อเยื่อ (Clouse *et al*., 1997)

2.3.6.3 บราสสิโนสเตียรอยด์มีผลต่อการพัฒนา

มีการศึกษาเกี่ยวกับ BRs synthesis และ active and conjugated BRs ในการพัฒนา pollen ซึ่งพบว่ามีปริมาณของ BRs เพิ่มขึ้นในช่วง maturity (Clouse, 1997 ; Asakawa *et al*., 1996) โดยมีความสำคัญสำหรับ fertilization ของพืช เช่นเดียวกับการศึกษาใน stigmas พบว่าการให้ BRs ชักนำให้เกิด haploid seeds ได้ (Kitani, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.6.4 การเปรียบเทียบกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชประเภทอื่น ในการประเมินทางชีวภาพที่แตกต่างกัน

นับตั้งแต่การค้นพบบราสสิโนไลด์ การกระตุ้นทางชีวภาพในระบบการประเมินที่ออกแบบให้กับออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนินได้มีการค้นคว้าขึ้น ผลกระทบหลักประการหนึ่งของบราสสิโนไลด์ ปรากฏว่าสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่าง IAA และ BRs รูปแบบกิจกรรมของสารทั้งสองชนิดร่วมกันกระทำ แม้ว่าในเกือบทุกกรณีบราสสิโนไลด์จะกระทำในลักษณะ

คล้ายกับออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน การประเมินทางชีวภาพอาศัยการสร้างราก รวมทั้งส่วนลำต้นถั่วเขียวใต้ใบเลี้ยง การเจริญของตาข้างในการตัดยอดถั่ว และการยืดขยายรากของเกล็ดใบแต่จิบเบอเรลลินชะลอการชราภาพ ไซโตไคนินและบราสสิโนไลด์แสดงผลที่แตกต่างกันในส่วนปลาย และการแผ่ขยายปลายของถั่วลันเตาแคระ การสร้าง Betacyanin ที่ให้สีในช่วงสีแดงไปจนถึงสีม่วงในพืช *Amaranthus retroflexus* และการประเมินลักษณะชราภาพของเกล็ดใบพืช *Xanthim strumatium* (Yopp *et al*., 1981)

2.3.6.5 ส่งเสริมการสังเคราะห์เอทธิลีน และการม้วนของใบ

ในท่อนลำต้นใต้ใบเลี้ยงถั่วเขียวที่อยู่ใต้ดิน BRs สามารถเพิ่มในการสังเคราะห์เอทธิลีนโดยการกระตุ้นกิจกรรมการสังเคราะห์สาร ACC สำหรับ BRs ที่ชักนำเอทธิลีนสามารถยับยั้งได้โดย AOA (Amino-oxy acetic acid), Co^{2+}, Fusicoccin (พิษของเชื้อรา) และสารยับยั้งการขนย้ายออกซิน 2-3-5-triiodobenzoic acid และ 2-(p-chlorophenoxy)-2-methylpropionic acid ในการผลิตเอทธิลีน ซึ่ง BRs กระทำการออกฤทธิ์ได้แต่ต้องร่วมกับออกซินที่มีฤทธิ์กระตุ้นและแคลเซียม ในขณะที่สารนี้จะมีผลกระทบเพิ่มเมื่อใช้ร่วมกับไซโตไคนิน แสงได้แสดงให้เห็นว่ายับยั้ง BRs ชักนำการผลิตเอทธิลีน ในขณะที่มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อเอทธิลีนที่ผลิตในการตอบสนองต่อ IAA (Arteca, 1990) การให้ BRs แก่รากของมะเขือเทศที่ปลูกในอาหารที่ปลูกในอาหารน้ำแสดงให้เห็นว่าเกิดการกระตุ้นและส่งเสริมการเพิ่มขึ้นในการสังเคราะห์ ACC synthase, เอทธิลีน และทำให้เกิดการโค้งของก้านใบ (Schlagnhaufer and Arteca, 1985)

2.3.6.6 การยืดขยายตัวของยอด

BRs ได้แสดงให้เห็นถึงการส่งเสริมการยืดขยายเนื้อเยื่อส่วนกิ่งก้านในพืชหลายชนิดในอัตราความเข้มข้นที่ต่ำมากๆ จากผลการศึกษานี้ BRs ส่งเสริมต่อการยืดขยายได้ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนภายใต้สภาพของแสงสีแดงอ่อนๆ แสงสีเขียวและแสงสีขาว อย่างไรก็ตามมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่มีเลยถ้าอยู่ในความมืดอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะว่า ผลของบราสสิโนไลด์อาจจะทำให้แก้ไขปัญหาของผลกระทบในการยับยั้งของแสงได้ (Kamuro and Inada, 1991)ในช่วงเวลาต่อมา Wang *et al*. (1993) พบว่า BRs สามารถกระตุ้นการยืดขยายส่วนลำต้นใต้ใบเลี้ยงของผักกาดเขียวกวางตุ้งได้ โดยการเพิ่มการคลายตัวส่วนของผนังเซลล์ที่ไม่ต้องเปลี่ยนไปพร้อมๆกับคุณสมบัติทางกลของผนังเซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.6.7 การงอกและการพัฒนาของราก

BRs เป็นสารยับยั้งการงอก และการพัฒนาของรากที่มีฤทธิ์สูงยิ่ง ผลกระทบของ BRs และ IAA ทั่วไปมีลักษณะคล้ายๆกัน และร่วมกันระหว่างสารทั้งสอง อย่างไรก็ตามในกรณีของการยืดขยายของราก สารทั้งสองนี้มีหน้าที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า BRs ส่งผลอย่างเป็นอิสระต่างจาก IAA ในราก หรือส่งผลตรงกันข้ามกับ IAA เนื่องจากเอทธิลีน มีผลกระทบต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของราก (Roddick and Guan, 1991) และ BRs กระตุ้นเอทธิลีน ซึ่งอาจจะไปได้ว่าการยับยั้งการเจริญเติบโตของราก เนื่องจาก BRs ชักนำการผลิตเอทธิลีน

2.3.6.8 การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

BRs ชนิด 2,4-epibrassinolide สามารถทดแทนปัจจัยสภาพแวดล้อมของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และมันยังมีผลในทางเสริมฤทธิ์กับปัจจัยเหล่านั้น ในทางส่งเสริมการเจริญเติบโตของเซลล์แครอท (Bellincampi and Morpurgo, 1991) อย่างไรก็ตาม Bach *et al*. (1991) ได้ทำการศึกษาเซลล์ในยาสูบที่มีการตัดแต่งยีน BRs ที่มีความเข้มข้นต่ำมากที่ระดับต่ำสุดถึง 10^{-8} M สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์ได้อย่างชัดเจน

2.3.6.9 ผลทางต่อต้านการลอกคราบในแมลง

BRs ตามลักษณะของโครงสร้าง จะคล้ายกับโครงสร้างของ ecdysteroids ซึ่งเป็นฮอร์โมนลอกคราบของแมลงและสัตว์ที่มีขาเป็นข้อๆ และตัวเป็นปล้องคลุมด้วยไคนินอื่นๆ BRs แสดงให้เห็นถึงการเข้าทำปฏิกิริยากับ ecdysteroids ซึ่งเป็นตัวต่อต้านการลอกคราบ BRs เป็นสารธรรมชาติจึงเป็นตัวเลือกในการใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืชอย่างปลอดภัย (Richter and Koolman, 1991)

2.3.6.10 อิทธิพลทางชีววิทยาอื่นๆ

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า BRs มีอิทธิพลทางชีววิทยาอื่นๆ อีกหลายประการ เช่น การส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงใน plasmalemma ในด้านการให้พลังงานและการลำเลียง การดูดซึมสารอาหารต่างๆ (assimilate uptake) เพิ่มการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างใบไปเป็น xylem เพิ่มความต้านทานความหนาวเย็น โรค สารกำจัดวัชพืช และความเครียดอันเนื่องจากเกลือ นอกจากนั้นยังส่งเสริมการงอก ลดการตาย และการหลุดร่วงของผล (Culter *et al*., 1991 ; Iwasaki and Shibaoka, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.7 ผลกระทบของบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อกรดนิวคลิอิค และการสังเคราะห์โปรตีน

เมื่อต้นถั่วได้รับ BRs จะมีการเพิ่มในกิจกรรมของ RNA และ DNA polymerase ในการสังเคราะห์ RNA, DNA และโปรตีน (Kalinich *et al*., 1985) สารยับยั้งของ RNA และการสังเคราะห์โปรตีนจะไปขัดขวางการยืดยาวของ epicotyl ที่ได้รับการกระตุ้น โดย BRs ซึ่งผลของการจริญเติบโตที่กระตุ้นโดย BRs ขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์ nucleic acid และโปรตีนต่างๆในระดับความเข้มข้นต่ำ (Mandava, 1988) BRs กระตุ้นการยืดยาวในถั่วเหลือง รูปแบบการแสดงออกของยีนจะถูกเปลี่ยนแปลงโดย BRs ไม่ว่าจะมี IAA ร่วมด้วยหรือไม่ก็ตาม แสดงให้เห็นว่า BRs สามารถออกฤทธิ์ได้โดยตัวของมันเอง แต่อาจเป็นไปได้ว่า BRs อาจจะออกฤทธิ์ร่วมกับออกซินที่มีอยู่ภายในพืช งานวิจัยเพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของ BRs ที่มีต่อยีนซึ่งควบคุมโดยออกซิน พบว่ากลไกในระดับโมเลกุลของการยืดยาว ซึ่งกระตุ้นโดย BRs นั้นแตกต่างจากการยืดยาวที่ถูกกระตุ้นโดยออกซิน (Clouse *et al*., 1992) อย่างไรก็ตามความเป็นไปได้ที่ยังคงมีอยู่นั้นสามารถที่จะทำร่วมกับออกซินภายในพืชได้ ในการนี้เพื่อที่จะทำให้ก้าวไปข้างหน้าในผลกระทบของ BRs ต่อหน่วยพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยออกซินที่ทราบหลายชนิดได้ถูกประเมินขึ้น งานนี้ชี้ให้ว่ากลไกการทำงานระดับโมเลกุลของ BRs ชักนำการยืดขยายที่แตกต่างกันไปจากออกซิน ซึ่งชักนำการยืดขยายในระบบนี้ (Clouse *et al*., 1992)

2.3.8 ประโยชน์จากการใช้บราสสิโนสเตียรอยด์

ช่วยเพิ่มผลผลิตของแตงโม (watermelon) ทั้งทางปริมาณและคุณภาพ (Wang *et al*., 1993) ลดการหลุดร่วงของดอกอ่อน และผลของงุ่นทำให้เกิดการสุกแก่เร็วขึ้น (Xu *et al*., 1994) ช่วยขัดขวางการงอกในมันฝรั่งก่อนเวลาที่เหมาะสมต่อการงอก (Platonava and Korableva, 1994) ช่วยลดการปนเปื้อนของพืชจากโลหะหนัก (heavy metal) ที่มาจากการใช้ปุ๋ยเคมี ช่วยลดการเกิดอาการ chlororis จากการขาด magnesium ของต้นกล้า spruce ที่ปลูกโดยระบบ hydroponic มีผลทำให้เมล็ดพืชสูญเสียการงอก โดยเฉพาะถูกนำมาใช้กับเมล็ดของวัชพืชต่างๆและลดอาการเครียดเมื่อนำกิ่งตอนของสนเข็มโดยที่ (22S, 23S)-28-homoBL ทำให้เปอร์เซ็นต์รากที่เกิดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสน (*Pinus radi*) มีเปอร์เซ็นต์รากที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้น แต่พบว่ายับยั้งการเกิดรากในต้นยูคาลิปตัส (Sasse, 1997)

2.3.9 การศึกษาเกี่ยวกับบราสสิโนสเตียรอยด์

ช่วงต้นทศวรรษ 1980 นักวิทยาศาสตร์กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา เสนอว่า BR สามารถเพิ่มผลผลิตผักกาดหัว ผักกาดหอม ถั่ว พริกไทย และมันฝรั่ง แต่ผลต่อๆมาในสภาพไร่นาไม่เป็นไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างที่คาดไว้ทำให้ไม่มีการทดลองในอเมริกา จากการทดลองในพื้นที่ขนาดใหญ่ในจีน และญี่ปุ่นมากกว่าหกปี พบว่า 2,4-epibrassinolide นั้น เพิ่มผลผลิตทั้งพืชไร่และพืชสวน (รวมทั้งข้าวสาลี ข้าวโพด ยาสูบ แตงโม และแตงกวา) แต่มันก็ขึ้นกับสภาพของการเพาะปลูก วิธีการใช้สาร และปัจจัยอื่นๆอีก ผลที่ได้บางครั้งก็เด่นชัด บางครั้งก็ไม่ได้ผลจึงต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงรูปแบบของสาร (formulation) วิธีการใช้ เวลาที่ใช้ ผลของสภาพแวดล้อม และปัจจัยอื่นๆที่จำเป็นเพื่อหาสาเหตุของความแปรปรวนของผลการทดลอง (Cutler *et al*., 1991)

BRs เป็นสารกระตุ้นอัตราการยืดยาวของเซลล์ได้ในพืชหลายชนิด แต่ยังมีการศึกษาผลของ BRs ในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์อยู่น้อย จากการศึกษาในพิทูเนีย (petunia) โดยการใช้ BRs 10-100 nM ร่วมกับออกซินและไซโตไคนิน พบว่ามีผลในการช่วยลดเวลาการแบ่งเซลล์ของ *Helianthus tuberosus* (Clouse and Zurek, 1991) และ BRs อีกชนิดหนึ่งที่สังเคราะห์ขึ้นคือ BB-6 และ BB-16 พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตของมะเขือเทศ หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และข้าวโพด (Nunez *et al*., 1995 ; Nunez *et al*., 1994)

จากการศึกษาผลของการใช้ 0.1 เปอร์เซ็นต์ brassinolide 481 ในพืช พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ activity of superoxide dismutase (SOD) ในใบโดยกระตุ้นการเคลื่อนย้ายออกของ H^+ ลดการทำงานของ cell membrane เพื่อรักษา membrane ไว้ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ป้องกันดอกและผล เพิ่มอัตราการติดผล เพิ่มขนาดได้ในพืชหลายชนิด ส่งเสริมคุณภาพและเพิ่มผลผลิตได้ เช่น ข้าว พบว่าในพื้นที่ 128 ลูกบาศก์ฟุต (8x4x4) มีผลผลิตเพิ่ม 15-20 เปอร์เซ็นต์ ผลไม้ 15-35 เปอร์เซ็นต์ ผัก 20-45 เปอร์เซ็นต์ ฝ้ายและพืชน้ำมัน 10-20 เปอร์เซ็นต์ และในพืชอีกหลายชนิดผลผลิตสามารถเพิ่มได้เช่นกัน (Chengdu Newsun Biochemistry, 2003)

Manduva (1988) รายงานว่าผลผลิตของ radish และ ผักกาดหอม (lettuce) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากการใช้ BRs สามารถเพิ่มผลผลิตของผักต่างๆได้ เช่น พริก ถั่วพุ่ม ข้าวบาร์เลย์ และมันฝรั่ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเกิดการสุกแก่ (maturation) ของพืชด้วย

ไม้ผลที่ทำการพ่นก่อนมีดอกสามารถป้องกันการพักตัวของดอกในช่วงให้ดอก กระตุ้นการเจริญของผล และปรับปรุงลักษณะผิดปกติของผล ที่สำคัญคือ เพิ่มขนาดของผล โดยทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น 15-50 เปอร์เซ็นต์ เช่น ลิ้นจี่ ลำไย และสตรอเบอรี่ นอกจากนี้ช่วยทำให้แอปเปิลสาลี่ มีสีผิวสวยสว่างมันวาว ในส้ม “Monta” การใช้ BRs ช่วยกระตุ้นการติดผล ทำให้อัตราการติดผลเพิ่มขึ้นและทนสภาพอากาศหนาวเย็นทางใต้ของญี่ปุ่นได้ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (Chengdu Newsun Biochemistry, 2003) และมีการศึกษาการพ่น brassinolide 0.5, 0.75 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรให้กับผลลิ้นจี่ พบว่า brassinolide ช่วยลดการแตกของผลลิ้นจี่ได้และสามารถเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น (Peng *et al*., 2004) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pipattanawong *et al*. (1996) ทำศึกษาผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของ brassinolide ต่อสตรอเบอรี่ พบว่าสามารถเพิ่มจำนวนใบ ความยาวของ petiole และจำนวนหน่อ (crowns) ได้ 110-114 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มพื้นที่ใบได้ถึง 150-180 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีผลต่อการเกิดไหล (runner) สำหรับน้ำหนักแห้งรวมของทุกส่วนที่ได้รับสารหนักกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มจำนวนดอกและช่อดอกต่อต้น แต่ไม่เพิ่มจำนวนดอกต่อช่อและเพิ่มจำนวนผลผลิตทั้งหมดต่อต้นของพันธุ์ Miyoshi แต่ไม่พบว่ามีผลต่อผลิตของพันธุ์ Enrai

ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่าเนื้อเยื่อในส่วนลำต้นของ clacodes ที่ได้รับ BRs มีการเจริญเติบโตอย่างมากเช่นเดียวกับใน *Lilium japonicum* Thumb. ที่นำส่วนของ scale มาเพาะเลี้ยง พบว่ามีการเจริญทาง vegetative และ floral bud อย่างมาก (Nobel, 1996) นอกจากการศึกษาด้านโมเลกุลของ BRs แล้วมีการศึกษากระบวนการสังเคราะห์ (biosynthesis) และกระบวนการส่งสัญญาณ (signaling) เพิ่มมากขึ้น การศึกษาในสัตว์พบว่า steroid hormone ทำหน้าที่จับ (binding) กับนิวเคลียสที่ทำหน้าที่เป็น receptors แล้วได้ receptor complex ที่เข้าไปในนิวเคลียสไปกระตุ้นโดย genomic signaling ให้เกิด transcription ทำให้เกิดการรับรู้ และการตอบสนองโดย gene ภายในพืชเอง (Li, 2003)

จากการศึกษาของ Hu *et al.* (2000) พบว่าทั้งพืชและสัตว์มี mechanisms ของการรับรู้ steroids ในการเจริญเติบโตต่างกัน สัตว์รับรู้โดย intracellular steroid receptors ส่วนพืชรับรู้โดย cell-surface receptors ที่อยู่ใน transmembrane receptors (serine/threonine kinase) ซึ่ง BRs จำเป็นต่อการทำงานของ gene curl-3, dumpy และdrawf 7 ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกและผลผลิตของมะเขือเทศ ทั้งนี้กระบวนการ cell devision ของ arabidopsis เกิดขึ้นโดย BRs ไปกระตุ้น cycD3 gene ในกระบวนการ transcription

ฮอร์โมนสเตียรอยด์เป็นโมเลกุลสำคัญที่ส่งสัญญาณเพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตทาง growth development และdifferentiation เป็นไปอย่างปกติ โดยเป็นกลุ่มของ polyhydrosylated steroids serine/ghreonine kinase ร่วมกับ leucine-rich บริเวณ membrane มีผลต่อกระบวนการยืดยาวและการแบ่งตัวของเซลล์ในถั่ว chickpea ส่วนของ epicotyle มีระดับ transcript ของ beta-tubulin gene สูงขึ้นบริเวณที่เนื้อเยื่อที่เกิดการยืดยาว เช่น etiolated epicotyls ราก และลำต้น โดย BRs สามารถกระตุ้นในส่วน beta-tubulin สู่ gene coding ชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตใน epicotyle ของ chickpea (Friedrichsen and Chory, 2001)

จากการศึกษาผลของ BRs ที่ระดับความเข้มข้น 0.00001 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตรใน cladodes (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill. var. lutea) พบว่ามีการกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตในระยะแรกของ vegetative bud อย่างมาก นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มน้ำหนักสด และกระตุ้นให้เกิดการแก่ก่อนวัย (precocity) ซึ่งความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการตอบสนองที่ดีคือ 0.001, 0.1 และ 10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มิลลิกรัมต่อลิตร (Cortes *et al*., 2003)

ในถั่ว *Distylium racemosum* เกิดการพอง (swelling) ของ adaxial cell ที่เชื่อมระหว่าง leaf blade กับ shelf of etiolated ของต้นกล้าในข้อที่ 2 และ 3 ของต้นถั่วที่มีการยืดยาว เมื่อทำการวิเคราะห์ BRs พบว่ามีมากกว่าส่วนอื่นของต้น ซึ่งผลจากการใช้ BRs คือ เพิ่ม leaf bending cell elongation, cell division, protein pump และ membrane polarization (Cerana *et al*., 1993 ; Romani *et al*., 1993) ช่วยให้เกิดความทนทานต่อ senescence (Mandava *et al*., 1988), กระตุ้นการเกิด differentiation ของ vascular (Iwaski and Shibaoka, 1991) และเพิ่ม reorientation ของ microtubules (Mayumi and Shibaoka, 1995)

มีการนำสารคล้าย BRs มาใช้ในการกระตุ้นกิจกรรมการเจริญเติบโต ในส่วน rice lamina พบว่ามีผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตอย่างมาก (Brosa *et al*., 1998) Yokotan and Mori (1992) พบว่าเซลล์ที่ได้รับ BRs เกิด bending ได้โดยส่วน adaxial ของ lamina ที่ติดกันระหว่าง leaf sheath ของ lamina มีการพองตัว (swollen) มากขึ้น

อาการของใบข้าวหรือธัญพืชอื่นๆที่กำลังเหลืองนั้น BRs สามารถกระตุ้นการพัฒนาการเกิดรากใหม่ให้เพิ่มขึ้นได้ภายหลังจากใช้ 7 วัน ขณะเดียวกันก็เพิ่มจำนวน chlorophyll ทำให้มี photosynthesis เพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มอาหารให้พืช ส่งผลให้ระดับคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้น ทำให้พืชมีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้งหรือน้ำขัง นอกจากนี้ยังทำให้พืชแข็งแรง ป้องกันโรคแมลง ป้องกันอาการเหี่ยวและต้นแคระ (Sairam, 1994)

การใช้ BRs ในการกระตุ้นการสุกของมะเขือเทศ พบว่าสามารถชักนำให้เกิดการสุกได้โดยการไปเพิ่มเอทธิลีนเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรต แต่ทำให้ระดับของ lycopene, chlorophyll และ ascorbic acid ลดลง (Vidya and Seeta, 2001) สอดคล้องกับการใช้ BRs 300 นาโนกรัม สามารถกระตุ้นการเจริญของ *Brassica chinensis* โดยทำให้ biochemical processes เกิดได้มากขึ้นเป็นเหตุให้เกิด wall relaxation โดยไม่ทำให้ mechanical ของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด (Wang *et al*., 1993) และฝ้ายที่ได้รับ BRs พบว่าเส้นใยถูกปรับปรุงให้มีคุณสมบัติและลักษณะที่ดีกว่าเดิม (Allen *et al*., 2003)

Fankhauser and Chory (1997) ได้ทำการศึกษา gene analysis ที่มีความเกี่ยวข้องกับ photoreceptor signaling pathways พบว่าในยีนและแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองของพืชต่อระดับของ BRs โดยยีนเป็นปัจจัยภายในต้นพืชเอง สอดคล้องกับการศึกษาของ Neff *et al*. (1999) พบว่าแสงเป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตโดยคุณภาพ นอกจากนั้นคุณสมบัติของ photoreceptor มีผลโดยตรงต่อความแปรผันของปริมาณแสง รวมทั้ง Cytochrome P450 ก็มีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ BRs ในพืชด้วย ซึ่งมีการศึกษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในมะเขือเทศและถั่ว พบว่า BRs มีผลต่อการกระตุ้น หรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ภายใน (Kim *et al*., 2004) นอกจากนั้นอาจเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนภายในต้นพืช เช่น จิบเบอเรลลิน มีผลต่อกระบวนการ signal transduction systems (Chory, 1997)

ชรัสนันท์ (2548) ศึกษาผลของการฉีดพ่น BRs ที่ความเข้มข้น 0.00 (กรรมวิธีควบคุม), 0.004 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรให้แก่ต้นลำไย พบว่าการใช้ BRs ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผลลำไยมีขนาดใหญ่ที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพงศ์ (2553) ทำการศึกษาผลของ BRs ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยการ ฉีดพ่น BRs ที่มีความเข้มข้น 0, 250, 500, 750 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb.)ให้แก่ผลมะม่วงอายุ 30 วันหลังการติดผล จากนั้นให้ BRs ซ้ำในทุกๆ 30 วัน เก็บเกี่ยวมะม่วงเมื่อมีความสุกแก่ที่เหมาะสมตามดัชนีการเก็บเกี่ยว (อายุ 120 วันหลังติดผล) แล้วจึงนำมาวิเคราะห์คุณภาพของผลมะม่วง พบว่ามะม่วงที่ได้รับ BRs สามารถเพิ่มขนาดของผลมะม่วงได้โดย BRs ที่ระดับความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อลิตร มีขนาด น้ำหนักผล เปลือก เนื้อ และเมล็ดที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่ความแน่นเนื้อ ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกกรรมวิธี

2.3.10 ความสัมพันธ์ของ BRs กับสารควบคุมการเจริญเติบโตอื่นๆ

ผลของ BRs มีความสัมพันธ์กับ IAA โดยมีการออกฤทธิ์ไปในทำนองเดียวกันในหลายกรณี BRs ออกฤทธิ์ในลักษณะเดียวกับออกซินและจิบเบอเรลลิน สำหรับการเกิดรากของถั่วเขียว การเจริญของตาข้างเมื่อมีการตัดยอดของต้นถั่ว การยืดยาวของรากต้นกล้า cress พบว่าการเกิดรากซึ่งการออกฤทธิ์ต่างกัน (Yopp *et al*., 1981)โดย IAA ส่งเสริมการเกิดราก แต่ BRs ยับยั้งการเกิดรากซึ่งการออกฤทธิ์ของ BRs ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ IAA และออกฤทธิ์ในลักษณะต่อต้าน IAA (Roddick and Guan., 1991) ในระดับโมเลกุลพบว่ากลไก ในการยืดยาวถูกกระตุ้นโดย BRs ซึ่งมีความแตกต่างจากการยืดยาวที่ถูกกระตุ้นจากออกซิน (Clouse *et al*., 1992) พบความสัมพันธ์ของ BRs กับ IAA เมื่อใช้ร่วมกันแก่ชิ้นส่วน hypocotyl ของถั่วเขียว และมะเขือทำให้ยืดยาวได้โดยสารทั้งสองร่วมกระตุ้น ACC synthase (Arteca *et al*., 1993 ; Heble *et al*., 2001)

ผลของ BRs ต่อการแพร่กระจายของออกซิน โดยกระตุ้นการเคลื่อนที่อย่างมีทิศทางของออกซิน (polar auxin transport) hypocotyls และยังยับยั้งการเกิดรากในต้น Arabidopsis ได้ (Clouse *et al*., 1998 ; Ephrotikihine *et al*., 1999 ; Yin *et al*., 2002) โดย BRs กระตุ้นการแสดงออกของ gene encoding auxin จากการกระตุ้น endogenous auxin ในส่วน middle part of primary root และยังกระตุ้นการพัฒนา lateral root และ cotyledon ของต้นกล้า และกระตุ้นให้เซลล์กลับมาเป็นเซลล์ที่สามารถทำหน้าที่ตอบสนองต่อ gravity และส่งสัญญาณใน transport mechanisms นอกจากนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

BRs ความเข้มข้นต่ำๆ มีผลในการเพิ่มความยาวของเซลล์ (cell elongation) แต่ที่ความเข้มข้นสูงๆ (100 nM) สามารถยับยั้งการยืดยาวของเซลล์ในต้นอ่อนบางสายพันธุ์ (Xue *et al*., 2003)

การศึกษากิจกรรมของ BRs ส่วน rice lamina พบว่า BRs ออกซิน และจิบเบอเรลลิน โดยการใช้ IAA 5 ไมโครกรัม และ BRs ความเข้มข้น 0.01 ไมโครกรัม (Fujioka *et al*., 2000) เพิ่มการยืดยาวของต้น (stem elongation) และการใช้ BRs ร่วมกับออกซินได้ผลดีกว่าการใช้สารเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่ง 6-oxobrassinosteroids ออกฤทธิ์ได้ดีกว่า 6-deoxobrassinosteroids (Fujioka *et al*., 1999 ; Yopp *et al*., 1981) แต่จากการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมการแสดงออกของยีนโดยจิบเบอเรลลิน และ BRs พบว่าสารทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบ antagonistically โดยเกิดขึ้นในกระบวนการ protein synthesis ระดับ transcriptional (Bouquin *et al*., 2001)

สำหรับปัญหาการพักตัวของตาดอกในอ่อน พบว่าการใช้ BRs 1 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ CPPU 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดการกระตุ้นและครอบคลุมการจัดการปัญหาดังกล่าวได้ผลดี ในลำไยการใช้ brassinolide 0.0002 มิลลิกรัมต่อลิตร, NAA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร, GA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร, 6-BA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปุ๋ยทางใบ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการฉีดพ่น PGRs สามารถเพิ่มขนาดผลและขนาดเมล็ดลำไยพันธุ์ดอได้ดีกว่าการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบ และ PGRs ร่วมกับปุ๋ยทางใบ นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มจำนวนของผลที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของผลตั้งแต่ 27-31.9 มิลลิเมตรและ 22-26.9 มิลลิเมตรได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำ เช่นเดียวกับคุณภาพผลด้านสีเปลือก แต่การพ่น PGRs และการให้ปุ๋ยทางใบไม่มีผลต่อน้ำหนักผล น้ำหนักเมล็ด เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของผล และเปอร์เซ็นต์ส่วนที่บริโภคได้ของผลลำไยพันธุ์ดอ สำหรับการใช้ NAA 50 มิลลิกรัมต่อลิตร+ GA_3 50 มิลลิกรัมต่อลิตร+ BA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร+ brassinolide 0.0002 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผลลำไยมีขนาดเพิ่มขึ้นมากกว่าในชุดควบคุม (เสาวภา, 2547)

พรศุลี และคณะ (2542) พบว่าในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และโชคอนันต์ การงอกของละอองเกสรจะสูงขึ้นเมื่อใช้ brassinolide 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนพันธุ์มันเดือนเก้าที่ระดับความเข้มข้นที่ดีนั่นคือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้แล้วการงอกของละอองเกสรพันธุ์น้ำดอกไม้จะสูงขึ้นเมื่อใช้ ไซโตไคนิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และพันธุ์มันเดือนเก้าการงอกของละอองเกสรจะสูงขึ้นเมื่อใช้ไซโตไคนิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนพันธุ์โชคอนันต์ใช้ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved