

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### ลำไย (Longan)

ลำไยจัดเป็นพืชตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour.; *Euphoria longana* Lam.; *Euphoria* Steud.; ลำไยจัดเป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ สามารถปลูกได้ในพื้นที่สูง 300 ถึง 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล (Menzel, 1983)

#### ถิ่นกำเนิดและการแพร่กระจาย

ลำไยเป็นไม้ผลเขตร้อน (นิพนธ์, 2542) เป็นไม้พื้นเมืองของประเทศจีนตอนใต้ โดยปลูกกันอย่างแพร่หลายในมณฑลกว๋างตุ้ง (Kwangtung) ฟุกีเยน (Fukien) กวางซี (Guangxi) (นิพนธ์ และเฉลิม, 2542) และมีการแพร่กระจายเข้าไปสู่อินเดีย ลังกา พม่า ฟิลิปปินส์ ยุโรป สหรัฐอเมริกา (มลรัฐฮาวายและฟลอริดา) คิวบา หมู่เกาะอินดีสตะวันตก มาดากัสกาและไทย แหล่งปลูกลำไยในประเทศไทยที่สำคัญคือ จังหวัดที่อยู่ในเขตภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย ลำปาง แพร่ น่านและพะเยา นอกจากนี้ก็มีการปลูกในภาคกลาง เช่น สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ปัจจุบันลำไยได้แพร่กระจายไปตามจังหวัดต่าง ๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเลยหนองคาย นครพนม ภาคใต้ เช่น จังหวัดพัทลุง สงขลา และนครศรีธรรมราช (พาวิณ, 2543)

#### ลักษณะทั่วไป

ลำไยเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีหน้าดินลึกมีอินทรีย์วัตถุสูงระบายน้ำได้ดีโดยธรรมชาติของลำไยจะให้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอทุกปีซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เหมาะสม (สำนักงานเกษตรภาคเหนือและสำนักงานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2544) ดังนี้

**สภาพความอุดมสมบูรณ์ของต้นลำไย** โดยสังเกตจาก ความอุดมสมบูรณ์ของใบ โดยใบจะมีสีเขียวเข้มและมัน ทั้งนี้ในระยะก่อนการแทงช่อดอกลำไยต้องแตกช่อบี 1 ครั้งขึ้นไป

**อุณหภูมิที่เหมาะสม** ลำไยเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 20 - 25 องศาเซลเซียสและต้องการอุณหภูมิ 10 - 12 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่อเนื่อง 10 - 15 วัน เพื่อกระตุ้นการออกดอก

**ความชื้นและปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสม** ลำไยต้องการปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1,200 - 1,400 มิลลิเมตรและมีการกระจายตัวของน้ำฝน 100 - 150 วัน/ปี

### **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์**

**ลำต้น** ลำไยเป็นไม้ผลขนาดกลางถึงใหญ่ สูงประมาณ 10 - 12 เมตร (พิชัย, 2532) กิ่งก้านลำไยมีเนื้อไม้ที่เปราะหักได้ง่าย เปลือกลำต้นขรุขระ สีน้ำตาล หรือเทา (ฉันทนา, 2513)

**ใบ** ใบของลำไยเป็นใบประเภทใบประกอบ เรียงตัวกันแบบตรงกันข้ามหรือแบบสลับ ใบย่อยกว้าง 3 - 6 เซนติเมตร และยาว 1 - 15 เซนติเมตร ด้านบนใบสีเขียวเข้มเป็นมันใบใหม่ที่ออกมาจะมีสีน้ำตาลแดง (ฉันทนา, 2513) ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อยและเห็นเส้นใบ (vein) แตกออกจากเส้นกลางใบชัดเจนและมีจำนวนมาก (พาวิน, 2543)

**ดอก** ดอกเป็นช่อ (panicle) มีช่อดอกแบบ compound dichasis ออกดอกตามปลายกิ่งทางด้านนอกทรงพุ่ม ซึ่งเกิดเป็นช่อที่ชอกใบ ช่อดอกมีขนาดใหญ่ รูปทรงกรวย ก้านของช่อดอกอวบแข็งแรง เหยียดตรง แตกสาขาออกไปโดยรอบ ก้านที่แตกออกเหล่านี้เป็นที่เกิดของดอกเล็ก ๆ มากมาย มีสีขาวนวล (เกียรติเกษร และคณะ, 2530) ช่อดอกยาวประมาณ 15 - 60 เซนติเมตร ช่อดอกขนาดกลางมีดอกย่อยประมาณ 3,000 ดอก ช่อหนึ่ง ๆ มีดอก 3 ชนิด คือ ดอกตัวผู้ (staminate flower) ดอกตัวเมีย (pistillate flower) และดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ลักษณะที่คล้ายคลึงของดอกทั้ง 3 ชนิด คือ กลีบเลี้ยงหนาแข็ง 5 กลีบ สีเขียวปนน้ำตาล กลีบดอกบาง 5 กลีบ สีครีม (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

**ผล** เป็นผลเดี่ยวแบบ berry มีขนาดใหญ่ปานกลาง ผลออกเป็นช่อ แต่ละช่ออาจมีตั้งแต่ 2 - 30 ผล (เกศินี, 2546) ลำไยมีผลทรงกลมหรือทรงแป้น เปลือกสีน้ำตาลปนเหลืองหรือปนเขียว ผลสุกมีเปลือกสีเหลืองหรือสีน้ำตาล อมแดง ผลเปลือกเรียบหรือเกือบเรียบ มีตุ่มแบน ๆ ปกคลุมที่ผลเปลือกด้านนอก ผลเปลือก (pericarp) เจริญมาจากรังไข่ (ovary wall) (จงรักษ์, 2544)

**เนื้อผล** เป็นเนื้อเยื่อพาเรนไคมาที่เจริญล้อมรอบเมล็ดและอยู่ระหว่างเปลือกกับเมล็ด สีขาว คล้ายวุ้น สีขาวขุ่น ใสหรือขมพูเรื่อ ๆ กลิ่นหอม รสหวานและมีลักษณะเนื้อที่แฉะ แข็ง กรอบหรือเหนียวแตกต่างกันไปตามพันธุ์ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) เนื้อลำไยเกิดจากส่วนที่เจริญมาจากก้านรังไข่ (funiculus) (นิพัทธ์, 2542)

**เมล็ด** ขนาดใหญ่เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีน้ำตาลเข้มผิวเป็นมัน รูปโล่ค่อนข้างยาวเมล็ดล่อนออกจากเนื้อผล (เกศินี, 2546)

## พันธุ์ลำไย

พันธุ์ลำไยที่พบในปัจจุบันอาจแบ่งได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการเจริญเติบโต ลักษณะของผล เนื้อ เมล็ดและรสชาติ (พาวิณ, 2543; พาวิณ และวินัย, 2543) คือ

**ลำไยเครือหรือลำไยเถา** ลำไยชนิดนี้ลำต้นเลื้อยคล้ายเถาวัลย์ ทรงพุ่มต้นคล้ายเฟื่องฟ้า ลำต้นไม่มีแก่น ใบขนาดเล็กและสั้น ผลเล็ก ผิวผลสีชมพูปนน้ำตาล เมล็ดใหญ่เนื้อผลบาง มีกลิ่นคล้ายกำมะถัน เมล็ดใหญ่ ปลูกไว้สำหรับเป็นไม้ประดับมากกว่าที่จะใช้เพื่อรับประทานผล

**ลำไยต้น** แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

**ลำไยพื้นเมืองหรือลำไยกระดูก** ออกดอกประมาณเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนมกราคม และเก็บเกี่ยวผลได้ประมาณกลางเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม ให้ผลดก เปลือกลำต้นขรุขระมาก ต้นตั้งตรงสูง 20 - 30 เมตร ใบขนาดเล็กกว่าลำไยกะโหลก ผลมีขนาดเล็ก ขนาดของผลเฉลี่ยกว้าง 1.8 เซนติเมตร หนา 1.6 เซนติเมตร รูปร่างค่อนข้างกลม ผิวสีน้ำตาล เปลือกหนา เนื้อบาง สีขาวใส ปริมาณน้ำตาล 19 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดมีขนาดใหญ่ มักพบตามป่าของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย มีอายุยืนมาก ปัจจุบันไม่นิยมปลูก เนื่องจากผลมีขนาดเล็ก

**ลำไยกะโหลก** เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากเพราะให้ขนาดผลใหญ่เนื้อหนาและมีรสหวาน ปริมาณน้ำตาล 16 - 24 เปอร์เซ็นต์ มีอยู่ร่วมกันหลายพันธุ์แต่ละพันธุ์มีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างกันซึ่งลำไยพันธุ์กะโหลกที่ปลูกในประเทศไทย ได้แก่

**พันธุ์ดอหรืออีตอ** เป็นพันธุ์เบาออกดอกติดผลก่อนพันธุ์อื่น ชาวสวนนิยมปลูกก่อนเพราะเก็บเกี่ยวได้ราคาดี ตลาดต่างประเทศนิยมบริโภค เก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม สามารถจำหน่ายทั้งผลสดและแปรรูปทำลำไยอบแห้ง มีเนื้อหนา รสหวาน เมล็ดใหญ่ปานกลาง

**พันธุ์สีชมพูหรือชมพู** เป็นลำไยพันธุ์กลาง จัดเป็นพันธุ์ที่มีรสชาติดี นิยมรับประทานภายในประเทศ ผลขนาดใหญ่ปานกลาง ทรงผลค่อนข้างกลม เบี้ยวเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาลอมแดง ผิวเรียบ เปลือกหนา เนื้อหนานปานกลาง สีชมพูเรื่อ ๆ ยิ่งผลแก่จัดสีของเนื้อยิ่งเข้ม เนื้อล่อน รสหวาน กลิ่นหอม ปริมาณน้ำตาล 21 - 22 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดค่อนข้างเล็กสีดำเข้ม

**พันธุ์แห้วหรืออีแห้ว** เป็นลำไยพันธุ์หนัก ขนาดผลใหญ่หรือปานกลาง กว้าง 2.8 เซนติเมตร หนาและสูง 2.6 เซนติเมตร ทรงผลกลมและเบี้ยว ฐานผลนูน ผิวเปลือกสีน้ำตาล มีกระสีคล้ายตลอดผล เมื่อจับจะรู้สึกสากมือ เปลือกหนามาก เนื้อหนา แน่น แห้งและกรอบสีขาวขุ่น รสหวานแหลม มีกลิ่นหอม มีน้ำปานกลาง เมล็ดค่อนข้างเล็ก ทนแล้งได้ดี

**พันธุ์เบ็ยวเขียวหรืออ็เบ็ยวเขียว** เป็นพันธุ์หนักที่เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ช้ากว่าพันธุ์อื่น ๆ ผลมีขนาดใหญ่ ทรงผลกลมแบนและเบ็ยวมากเห็นได้ชัด กว้าง 3.0 เซนติเมตร หนา 2.6 เซนติเมตร ยาว 2.8 เซนติเมตร ผิวสีเขียวมันน้ำตาล ผิวเรียบเปลือกหนาและเหนียว เนื้อหนา สีขาว มีน้ำน้อย รสหวานแหลมมีกลิ่นหอม ปริมาณน้ำตาล 22 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดค่อนข้างเล็ก

**พันธุ์ใบดำหรืออ็ดำหรือกะโหลกใบดำ** เป็นพันธุ์เบา ลักษณะเด่น คือ ออกดอกติดผล สม่ำเสมอ เจริญเติบโตได้ดีมาก ทนแล้งและน้ำท่วมขังได้ดี แต่มีข้อเสียคือ ขณะที่ผลโตเต็มที่ ผลมีขนาดเล็กกว่าพันธุ์อื่น ๆ ทั้งนี้เพราะความดกมาก ผลกว้าง 2.8 เซนติเมตร หนา 2.3 เซนติเมตร สูง 2.3 เซนติเมตร ทรงผลค่อนข้างกลม แบนและเบ็ยวเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาลคล้ำ ขรุขระ เปลือกหนา และเหนียว ทนทานต่อการขนส่ง ปริมาณน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์

**พันธุ์แดงหรืออ็แดงกลม** เป็นลำไยพันธุ์กลาง ลักษณะเฉพาะของพันธุ์นี้ คือ ผลกลม เนื้อมีกลิ่นคาวคล้ายกำมะถัน ทำให้คุณภาพผลไม่ค่อยดี ขนาดผลใหญ่ปานกลาง กว้าง 2.6 เซนติเมตร หนา 2.5 เซนติเมตรและยาว 2.5 เซนติเมตร ขนาดผลค่อนข้างสม่ำเสมอ เปลือกบาง ผิวสีน้ำตาลอมแดง ผิวเรียบ เนื้อหนาปานกลาง สีขาวครีม เหนียว มีน้ำมาก จึงมักจะแฉะ ปริมาณน้ำตาลประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์

**พันธุ์เหลืองหรืออ็เหลือง** มีทรงพุ่มค่อนข้างกลม ออกผลดก กิ่งเพราะจึงหักง่ายเมื่อมีผลดกมาก ๆ ผลค่อนข้างกลม มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 20 - 21 เปอร์เซ็นต์

**พันธุ์พวงทอง** เป็นพันธุ์ที่มีช่อดอกขนาดใหญ่ ทรงผลค่อนข้างกลมและเบ็ยวเล็กน้อย กว้าง 18.6 เซนติเมตร ยาว 29.3 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตร หนา 2.3 เซนติเมตร สูง 2.4 เซนติเมตร ผิวสีน้ำตาล เนื้อหนา กรอบ สีเหลือง ปริมาณน้ำตาล 22 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดขนาดปานกลางและแบน

**พันธุ์เพชรสาครทะวาย** จัดเป็นลำไยพันธุ์ทะวาย คือ สามารถออกดอกมากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี มีผลกลม ผลกว้าง 2.7 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร หนา 2.6 เซนติเมตร เปลือกบาง เนื้อมีสีขาวย่น้ำ ปริมาณน้ำตาล 18 - 20 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดกว้าง 1.3 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร หนา 1.1 เซนติเมตร

**พันธุ์ปุมตินโค้ง** มีผลสวยมาก ขนาดใหญ่ สีเขียว ให้ผลดก แต่คุณภาพและรสชาติไม่ดี มีกลิ่นคาว นอกจากนี้ยังเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคพุ่มไม้กวาด

**พันธุ์ตลับนาถ** ผลขนาดใหญ่ ค่อนข้างกลม ผิวเปลือกเรียบ เนื้อหนา สีขาวใส เมล็ดเล็ก รสไม่หวานจัด

นอกจากพันธุ์ดังกล่าวข้างต้นยังมีลำไยอีกหลาย ๆ พันธุ์ที่มีการสำรวจพบ แต่ยังไม่ได้ปลูกแพร่หลาย ได้แก่ พันธุ์ใบหยก อีสร้อยยี่ ดอกลวง และดอแก้วยี่ เป็นต้น

## สรีรวิทยาการเจริญเติบโตและการพัฒนาการ

### การเจริญเติบโตทางลำต้น

ลำไยที่อยู่ในระยะต้นกล้า และต้นลำไยที่ปลูกด้วยกิ่งตอนที่ยังไม่ให้ผลผลิตจะมีการผลิใบ 3 - 5 ครั้งต่อปี ส่วนต้นที่ให้ผลผลิตและมีอายุมากจะมีการผลิใบก่อนออกดอก ประมาณ 1 - 2 ครั้งต่อปี คือ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต 3 - 4 สัปดาห์ ลำไยจะเริ่มผลิใบช่วงฤดูฝน ในภาคเหนือช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม การผลิใบครั้งที่สองอาจเกิดขึ้นอีกครั้งในช่วงฤดูหนาว สภาพของอุณหภูมิทั้งในดินและอากาศต่ำ มีผลทำให้การเจริญเติบโตของยอดใหม่ใช้เวลานานกว่าครั้งแรก 2 เท่า สำหรับต้นลำไยพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีอายุมากกว่า 30 ปี พบว่ามีการผลิใบอ่อนเพียงหนึ่งครั้งต่อปีก่อนออกดอกแต่อย่างไรก็ตามการผลิใบอาจเกิดได้ถึง 3 ครั้งต่อปี ในต้นที่มีอายุมากแต่มักจะพบในต้นที่มีการออกดอกเว้นปี (พาวิณ, 2543)

### การเจริญทางสืบพันธุ์

**การออกดอก** ลำไยที่ปลูกด้วยกิ่งตอนที่มีสภาพของต้นที่สมบูรณ์ จะเริ่มออกดอกในปีที่ 2 โดยการผลิซ่อดอกส่วนใหญ่ เกิดที่ส่วนยอด ภายในต้นเดียวกันแต่ละยอดอาจผลิตดอกไม่พร้อมกันทั้งต้น โดยเริ่มแทงซ่อดอกราว ๆ ปลายเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ พื้นที่ปลูก และสภาพแวดล้อม ในแต่ละปี สำหรับนิสัยการออกดอกของต้นลำไยนั้นมักจะออกดอกไม่สม่ำเสมอ (irregular bearing) บางปีออกดอกมาก (on year) บางปีออกดอกน้อย (off year) (พาวิณ, 2543) สาเหตุเกิดจากความสมบูรณ์ของต้น และปัจจัยภายนอกได้แก่ ความหนาวเย็น ความชื้นในดิน น้ำฝน แสงแดด เป็นต้น (วิรัตน์, 2543)

**การบานของดอกและการผสมเกสร** ระยะเวลาที่เริ่มเห็นซ่อดอกจนถึงดอกเริ่มบานใช้เวลา 3 - 4 สัปดาห์ ลักษณะการบานของดอกบานจากโคนช่อดอกไปหาปลายช่อดอกและการบานของช่อดอกแขนงย่อยจะบานจากโคนไปหาปลายดอกเช่นกัน ในระยะแรกของการบานดอกตัวผู้จะบานมากกว่าดอกตัวเมีย ลำไยต้นหนึ่ง ๆ จะใช้เวลาบาน 1 - 1.5 เดือน สำหรับการบานของดอกนั้นพบว่า มี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ดอกตัวผู้บานก่อนดอกตัวเมียและรูปแบบที่ ดอกตัวเมียบานก่อนดอกตัวผู้ สำหรับดอกตัวเมียที่บานเต็มที่ ลักษณะการพร้อมที่จะรับละอองเกสรของดอกตัวเมียสังเกตได้จาก ยอดเกสรตัวเมีย (stigmatic lobe) จะแยกออกเป็น 2 แฉก (bifurcation) และมีน้ำ

ต้อย (nectar) ที่ฐานดอก ช่วงเวลาในการผสมเกสร อยู่ระหว่าง 07.00-10.30 น. อับเรณูเริ่มแตก ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง หลังดอกบาน (พาวิน, 2543)

**สัดส่วนเพศดอก** ช่อดอกหนึ่ง ๆ อาจประกอบด้วยดอก ตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกสมบูรณ์เพศ โดยปกติดอกตัวผู้มากกว่าดอกประเภทอื่น ซึ่งสัดส่วนเพศดอกผันแปรตามพันธุกรรม การปฏิบัติกรดูแลรักษาและสภาพแวดล้อมในแต่ละปี ซึ่งพบว่าการมีดอกตัวเมียอยู่ในสัดส่วนสูงก็มีส่วนทำให้การติดผลสูงตามไปเช่นเดียวกัน โดยปกติพบว่าต้นที่เพาะจากเมล็ดจะมีการติดผลดี (พาวิน, 2543)

**การติดผล** ภายหลังดอกบานประมาณ 2 สัปดาห์ จะเกิดการติดผล ซึ่งสังเกตได้จากการเริ่มเหี่ยวของดอกตัวเมียกลีบดอกจะค่อย ๆ มีสีซีดลงและเหี่ยวไปในระยะ 3 - 4 วันหลังจากถ่ายละอองเกสร ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของการทำสวนลำไย คือต้นลำไยที่ติดผลมากเกินไปบางต้นติดผลมากกว่า 100 ผลต่อช่อ ทำให้ผลลำไยมีขนาดเล็กและเปลือกบาง เช่น พันธุ์สีชมพู เนื้อมักแฉะน้ำ แต่อย่างไรก็ตามในบางปีกลับพบปัญหาการติดผลน้อย ทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้มีปริมาณต่ำ ซึ่งสาเหตุของการติดผลมากหรือน้อยนั้นเกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งหรืออาจเกิดจากหลาย ๆ ปัจจัย ร่วมกัน ยกตัวอย่างเช่น ความสมบูรณ์ของต้น เพศและสัดส่วนเพศดอก ลำดับการบานของดอกหรือเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น แมลงผสมเกสรหรือสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น (พาวิน, 2543)

**การเจริญเติบโตของผล** การเจริญเติบโตของผลลำไยเป็นแบบ sigmoid curve สำหรับพันธุ์ดอใช้เวลาในการเจริญเติบโตของผลประมาณ 21 สัปดาห์ หลังติดผลจึงเจริญโตเต็มที่ (พาวิน, 2543) โดยทั่วไปการเติบโตของผลช่วงแรก ๆ เกิดจากการแบ่งเซลล์เป็นส่วนใหญ่ ขณะที่การขยายตัวของเซลล์เกิดขึ้นในช่วงหลัง ๆ ของการเติบโต ขึ้นอยู่กับผลไม้แต่ละชนิด ในไม้ผลส่วนใหญ่กระบวนการแบ่งเซลล์สัมพันธ์กับการเพิ่มขนาดของผล ขนาดของผลจะขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ของผลและกระบวนการเพิ่มปริมาตรของเซลล์ที่มีอยู่แล้ว ไม้ผลบางชนิดมีการแบ่งเซลล์เกิดขึ้นตลอดเวลาจนกระทั่งผลแก่ เกิดขึ้นในระยะต่าง ๆ กันในส่วนต่าง ๆ กันของผล (จินดา, 2544)

**ขนาดของผล** พันธุ์ลำไยที่ปลูกเป็นการค้าของไทยโดยทั่วไปแล้วจะมีขนาดของผลอยู่ในช่วง 10 - 20 กรัมต่อผล ขนาดของผลนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อมและการปฏิบัติและการดูแลรักษา มีรายงานการใช้ GA<sub>3</sub> เข้มข้น 50 ส่วนต่อล้าน ในระยะดอกบาน หรือ 2 สัปดาห์หลังติดผล หรือ 4 สัปดาห์หลังดอกบาน พบว่าสามารถเพิ่มขนาดของผลได้ 17.7 เปอร์เซ็นต์ (กิติโชติ และรวี, 2537)

**การแตกของผล** ผลแตก (fruit cracking) เกิดจากการขยายตัวของส่วนเปลือก และส่วนเนื้อไม่สมดุลกัน ส่วนเนื้อซึ่งมีลักษณะเป็นเซลล์อ่อนนุ่ม (spongy parenchyma) มีความสามารถในการยืดหดตัวได้สูง ในขณะที่ส่วนเปลือกมีความยืดหยุ่นต่ำกว่า ในกรณีของเปลือก ถ้าพัฒนาไม่ดีก็ไม่สามารถรองรับการขยายขนาดของเนื้อได้ แรงดันจากการขยายตัวของเนื้อผลจึงดันให้เปลือกแตก สำหรับการแตกของผลลำไยนั้น มักจะเกิดในระยะเวลาที่ผลลำไยใกล้จะแก่ เก็บเกี่ยวได้ มีข้อสังเกตว่าการแตกของผลลำไยนั้น มักเกิดกับต้นที่ติดผลดกเปลือกผลบางและมักเกิดกับพันธุ์ดอกอ่อน สาเหตุคาดว่าน่าจะเกิดจากการขาดน้ำและธาตุอาหารในระยะเริ่มต้นของการพัฒนาของเปลือกจึงทำให้เปลือกผลพัฒนาได้ไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อถึงระยะสร้างเนื้อจึงเกิดแรงดันขึ้นภายในผล เมื่อเปลือกขยายตัวไม่ทันก็เกิดอาการแตกของผล การป้องกันการแตกของผลทำได้โดยให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ ตั้งแต่ระยะออกดอกถึงระยะผลแก่ (พาวิน, 2543)

## ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการออกดอกของลำไยมีดังนี้

### 1. ปัจจัยภายใน

**พันธุ์** การออกดอกของลำไยแต่ละพันธุ์มีความยาก-ง่ายแตกต่างกัน บางพันธุ์ออกดอกง่ายและค่อนข้างสม่ำเสมอ เช่น พันธุ์ใบดำ, อีตอง (พาวิน, 2543) ในขณะที่บางพันธุ์ออกดอกยากและมักออกดอกเว้นปี คือ พันธุ์เหหัวและเปี้ยวเขียว นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ที่สามารถออกดอกได้มากกว่า 1 ครั้งต่อปี คือ พันธุ์เพชรสาคร ซึ่งพบครั้งแรกที่ จ. สมุทรสาคร (วิรัตน์, 2543)

**ความสมบูรณ์ของต้น** ความสมบูรณ์ของต้นลำไยเพื่อพร้อมต่อการออกดอก จะสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่สะสมไว้ในต้นค่อนข้างมาก ลำไยจะใช้เวลาในการออกดอก จนถึงเป็นผลแก่พร้อมเก็บเกี่ยวรวมทั้งสิ้น ประมาณ 7 - 8 เดือน (มกราคม-สิงหาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้อาหารสำหรับเลี้ยงผล ในปริมาณมากและมีเวลาสะสมอาหาร เพื่อใช้ในการออกดอกครั้งต่อไป เพียง 4 - 5 เดือน คือ กันยายนจนถึงธันวาคม ดังนั้นหากไม่มีการดูแลรักษาต้นลำไยให้สมบูรณ์เพียงพอ จะทำให้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในปีต่อไปลำไยออกดอกลดลง (พาวิน, 2543)

**ฮอร์โมน** มีรายงานถึงการศึกษาปริมาณฮอร์โมน ที่คาดว่าเกี่ยวข้องกับการติดดอกออกผลของลำไย โดย Huang (1996) พบว่าระดับฮอร์โมนภายในต้นลำไยที่เอื้อต่อการชักนำให้เกิดการสร้างตาดอก คือ มีระดับของไซโตไคนิน (isopentenyladenosine) สูง แต่มีปริมาณของจิบเบอเรลลิน ( $GA_3$ ) และแอบซีสิค แอซิด (ABA) ต่ำ นอกจากนี้ (Chen *et al.*, 1997) ได้วิเคราะห์ปริมาณไซโตไคนินในยอดลำไยในระยะต่าง ๆ พบว่าปริมาณไซโตไคนินทั้งหมดต่ำในระยะที่ลำไยผลิใบอ่อน แต่จะสูงในระยะสร้างตาดอก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง zeatin, zeatin riboside, isopentenyladenosine และ isopentenyladenin นพพร (2539) ได้ศึกษาถึงปริมาณสารคล้าย

จิบเบอเรลลินลดลงและลดลงต่ำสุด จนไม่สามารถตรวจพบในสัปดาห์ที่มีการออกดอก อย่างไรก็ตามมีผู้ทดลองใช้สารพาโคบิวทราโซล ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลินกลับไม่สามารถ ชักนำให้ลำไยออกดอกได้ (ณัฐวดี, 2542) แสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณของจิบเบอเรลลินเพียงอย่างเดียวไม่น่าจะสามารถชักนำให้ลำไยออกดอกได้ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการออกดอกของลำไย อาจถูกควบคุมด้วยสมดุลของฮอร์โมนหลาย ๆ ชนิด (พาวิณ, 2543)

## 2. ปัจจัยภายนอก

**แสง** ลำไยออกดอกที่ปลายยอดบริเวณที่ได้รับแสง ส่วนกิ่งที่ไม่ได้รับแสงจะออกดอกน้อย ทั้งนี้แสงเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง ซึ่งพืชต้องใช้ในการออกดอก นอกจากนี้ลำไยที่มีพุ่มหนาที่ใบจะออกดอกน้อยกว่าต้นที่มีทรงพุ่มโปร่งและใบได้รับแสงอย่างทั่วถึง (วิรัตน์, 2543)

**อุณหภูมิ** ปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ลำไยออกดอกได้ คือ ความหนาวเย็นของอากาศ เพราะแม้ต้นลำไยจะไม่สมบูรณ์ หรือปริมาณฝนมีปานกลางหรือน้อยแต่หากอากาศหนาวเย็นเพียงพอก็ส่งผลให้ลำไยออกดอกได้ ซึ่งคาดว่าอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนภายในของพืช ลำไยออกดอกได้ดีภายหลังจากผ่านช่วงเวลาของความหนาวเย็น ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำหรือระดับอุณหภูมิที่ได้รับที่สามารถกระตุ้นให้ลำไยออกดอกได้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ พันธุ์ลำไยที่ออกดอกง่ายส่วนใหญ่มักต้องอุณหภูมิต่ำในช่วงระยะเวลาที่สั้นและระดับอุณหภูมิไม่ต่ำมาก เช่น พันธุ์ใบดำ, พันธุ์ดอ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการออกดอก ตั้งแต่ 10 ถึง 20 องศาเซลเซียส (วิรัตน์, 2543)

**ปริมาณน้ำ** วิรัตน์ (2543) รายงานว่าปริมาณน้ำที่เกี่ยวข้องกับการออกดอกของลำไย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน, ปริมาณไอน้ำในอากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำในดินหรือความชื้นในดิน การเปลี่ยนแปลงจากตาใบ (vegetative bud) ไปเป็นตาดอก (flower bud) ถือเป็นช่วงภาวะวิกฤติของลำไย ซึ่งมีระยะเวลาสั้นมากหากช่วงนี้ลำไยได้รับปริมาณน้ำมาก จะทำให้ตายอดเปลี่ยน เป็นยอดอ่อนของกิ่งใบแทนการเกิดตาดอกดังนั้นลำไย จึงไม่ต้องการน้ำมากในการออกดอกและจะออกดอกหลังจากฤดูฝนผ่านไปแล้ว ในช่วงก่อนการออกดอกความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณน้ำฝนและลมในฤดูหนาวที่แห้งและเย็น ซึ่งผลกระทบดังกล่าวทำให้ความชื้นในดินลดลงส่งผลถึงปริมาณน้ำที่รากพืชดูดขึ้นไปใช้ รวมถึงเมแทบอลิซึมของการใช้คาร์โบไฮเดรตลดลง การสะสมอาหารที่จะใช้ในการออกดอกจึงเพิ่มขึ้น สภาพความชื้นในดินต่ำ ยัง



ลดอัตราการดูดธาตุไนโตรเจนจะส่งเสริมการเกิดกิ่งใบและลดการออกดอก ดังนั้นความชื้นต่ำในดินจึงเพิ่มโอกาสในการเกิดดอกมากขึ้น

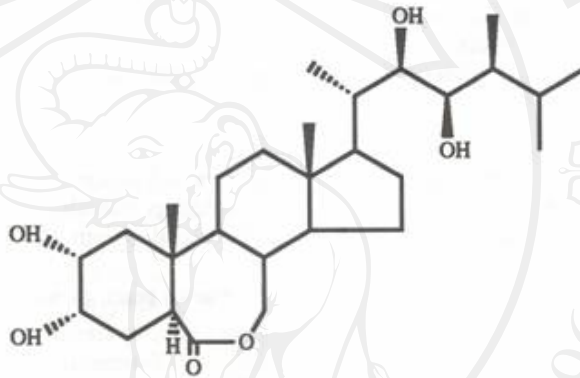
### บราสซิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroid, BRs)

บราสซิโนสเตียรอยด์ เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชได้จากการสกัด rape pollen สารที่สกัดได้ให้ชื่อว่า “brassins (BRs)” โดย The U.S. Department of Agriculture (Mitchell *et al.*, 1970 และ Yokota, 1999 ) บราสซิโนสเตียรอยด์ เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มใหม่ (Khripach *et al.*, 1999 ; Sasse, 1997 และ Sasse, 1999) แต่ยังมีสิ่งที่ยังไม่รู้อีกมาก ซึ่งทำให้เกิดข้อสงสัยขึ้นได้ หลักฐานแรกที่ทำให้เชื่อว่า บราสซิโนสเตียรอยด์ เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มใหม่ คือ สารนี้มีกระจายอยู่ทั่วไปในอาณาจักรพืช เหตุผลที่สอง คือ สารนี้ออกฤทธิ์ได้ในระดับต่ำมาก ๆ ทั้งในการตรวจวัดปริมาณโดยวิธีและในพืชทั้งหลาย เหตุผลที่สาม คือ การตอบสนองของพืชที่มีต่อสารกลุ่มนี้มีมากมาย ซึ่งแตกต่างจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มอื่น ๆ อีกทั้งบราสซิโนสเตียรอยด์มีโครงสร้างเฉพาะ ซึ่งจำเป็นต่อการออกฤทธิ์ในการส่งเสริมการตอบสนองทางสรีรวิทยาอย่างใดอย่างหนึ่ง เหตุผลที่สี่ คือ เมื่อให้สารนี้กับส่วนหนึ่งส่วนใดของพืช จะเกิดการลำเลียงไปยังตำแหน่งที่เกิดการตอบสนองทางชีววิทยาได้ ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำมาก

การศึกษากลไกการทำงานของ บราสซิโนสเตียรอยด์ โดยใช้เทคโนโลยีระดับโมเลกุล พบว่า บราสซิโนสเตียรอยด์ มีความสามารถในการควบคุมการแสดงออกของยีนที่ก่อให้เกิดการยืดยาว (Clouse *et al.*, 1992 และ Zurek and Clouse, 1994) และการสร้างเอทิลีน (Arteca *et al.*, 1993) นอกจากนี้ ยังได้ค้นพบพืชที่กลายพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อ บราสซิโนสเตียรอยด์ ซึ่งสามารถใช้ในการระบุชนิดและทำการจำลองยีนของตัวรับบราสซิโนสเตียรอยด์ (BRs receptor) ในพืชได้ด้วย (Clouse *et al.*, 1992) อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยอีกมากเกี่ยวกับกลไกการทำงานของบราสซิโนสเตียรอยด์ ให้ชัดเจนกว่านี้

สำหรับ บราสซิโนสเตียรอยด์ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินั้นอยู่ในรูปของอนุพันธ์ของ 5 $\alpha$ -cholestan การผันแปรของชนิดและตำแหน่งการเรียงตัวบนโครงสร้าง จะบ่งบอกถึงการออกฤทธิ์ได้ เพื่อเป็นการระบุถึงการออกฤทธิ์ของบราสซิโนสเตียรอยด์ ส่วนประกอบของโครงสร้างต้องมีสิ่งต่อไปนี้ (ภาพที่ 1)

1. เป็นระบบ tran A/B ring ( $5\alpha$ -hydrogen)
2. เป็นระบบ 6-ketone หรือ 7-oxa-6ketone ใน ring B
3. มี Cis  $\alpha$ -oriented hydroxyl group อยู่ที่ตำแหน่ง C-2 และ C-3
4. มี Cis hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-22 และ C-23 อีกทั้งมี methyl group อยู่ที่ตำแหน่ง C-24
5. การเรียงตัวกันในแบบ  $\alpha$ - oriented ที่ตำแหน่ง C-22 C-23 และ C-24 จะมีฤทธิ์มากกว่าสารประกอบที่มีการเรียงตัวแบบ  $\beta$  - oriented



ภาพที่ 1 โครงสร้างเคมีของ Brassinosteroid; BRs (William, 1999)

บราสซิโนสตีรอยด์ เป็น bioactive เกี่ยวกับ growth-promoting plant พบทั่วไปในธรรมชาติ บราสซิโนสตีรอยด์แต่ละชนิดต่างกันตรงตำแหน่ง C-3 position ที่จับกับ  $O_2$ , C2, 6, 22, 23 การศึกษากระบวนการสังเคราะห์ (biosynthetic) และเมแทบอลิซึม (metabolic pathway) จากการทำงานของเอนไซม์ ในระดับโมเลกุลของบราสซิโนสตีรอยด์เป็นที่น่าสนใจ (Bishop and Yokota, 2001; Friadrichsen and Chory, 2001; Mussig and Altmann, 2001; Schneider, 2002)

บราสซิโนสตีรอยด์ พบได้ในทุกส่วนของพืช เช่น pollen, anthers, seed, leaves, stems, root, flower, grain และ young vegetative tissue ของพืชทั่วไป (Andrzej and Andrzej, 2003) นอกจากนี้ยังพบได้จากเนื้อเยื่อของแมลง แต่ปริมาณบราสซิโนสตีรอยด์ที่พบในพืชสูงกว่าในแมลง ละอองเกสร (pollen) และเมล็ดอ่อน (immature seeds) เป็นแหล่งที่มีบราสซิโนสตีรอยด์มากเป็นพิเศษถึง  $1 - 100 \text{ ng.g}^{-1}$  fresh weight ส่วนยอดและใบพบเพียง  $0.01 - 0.1$

ng.g<sup>-1</sup> fresh weight ในส่วนอื่น ๆ นั้นอาจมีต่ำกว่าระดับ nanogram per gram fresh weight ซึ่งความเข้มข้นที่เคยสูงที่สุดคือ 6.4 mg/1 kg pollen นั้นพบใน *Cupressus arizonica* (Griffiths *et al.*, 1995; Clouse and Sasse, 1998; Fujioka, 1999) สารบราสิโนสเตียรอยด์พวก brassinolide (BL) และ castasterone (CS) เป็น บราสิโนสเตียรอยด์ที่สำคัญอย่างมากในกระบวนการ biological activity (Kim, 1991; Fujioka, 1999) มีการศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของบราสิโนสเตียรอยด์ที่พบในส่วนต่าง ๆ ของพืชแต่ละชนิด (Andrzej and Andrzej, 2003)

การลำเลียงและเมแทบอลิซึมของบราสิโนสเตียรอยด์ biosynthesis และ metabolism ของบราสิโนสเตียรอยด์ประกอบด้วย epimerization, oxidation และ conjugation (Fujioka and Yokota, 2003) ในปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัดว่า บราสิโนสเตียรอยด์ มีการลำเลียงในลักษณะใด (Schlanhauser and Ateca, 1985) หลักฐานว่าบราสิโนสเตียรอยด์มีการลำเลียงจากรากไปยังลำต้นของพืชได้ เมื่อให้บราสิโนสเตียรอยด์ที่รากของต้นมะเขือเทศ พบว่าเกิดการกระตุ้นให้สร้างเอทิลีนขึ้นมาแล้วทำให้ใบหุบลง (epinasty) แต่พบ ACC ได้น้อยมากหรือแทบจะไม่พบเลยใน xylem แสดงให้เห็นว่าอาจมีสัญญาณ (คาดว่า เป็นบราสิโนสเตียรอยด์) จากรากไปกระตุ้นการสร้าง ACC ในเนื้อเยื่อใบ นอกจากนี้ยังมีผู้เสนอว่า เมื่อให้บราสิโนสเตียรอยด์จากภายนอกกับรากมะเขือเทศและ radish พบว่า ก้านใบ (petiole) และส่วนของคัพภะหรือต้นกล้าที่อยู่ใต้ใบเลี้ยงลงไป (hypocotyl) ยืดยาวเพิ่มขึ้นและเมื่อให้บราสิโนสเตียรอยด์ไปที่ฐานของกิ่งตัวเขียวที่ตัดออกมาปักชำ พบว่ามีการส่งเสริมการยืดยาวของส่วนเหนือใบเลี้ยง (epicotyls) (Sasse, 1991)

### ผลทางสรีรวิทยาของบราสิโนสเตียรอยด์

บราสิโนสเตียรอยด์ มีผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยาหลายอย่างดังนี้ การยืดและการขยายขนาดของเซลล์ (cell expansion and cell elongation) (Azpiruz *et al.*, 1998), การแบ่งเซลล์ (cell division) (Sala and Sala, 1985; Nakajima *et al.*, 1996), การพัฒนาของท่อลำเลียงอาหาร (vascular differentiation and development) (Clouse and Zurek, 1991), เพิ่มการแก่ชรา (enhancement activities) (He *et al.*, 1996), การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ (changes in enzymatic activities), คุณสมบัติเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane potential), การสังเคราะห์ DNA, RNA และโปรตีน, การสังเคราะห์แสง (photosynthesis), การพัฒนาทางลำต้นและดอก (floral and vegetative bud development) และความทนทานต่อความเครียดต่าง ๆ (stress) (Khripach *et al.*, 1999; Mussig and Altmann, 2001)

### ประโยชน์จากการใช้ brassinosteroid

การศึกษาผลของ brassinosteroid ความเข้มข้น 0.00001 ถึง 10 มก/ล ใน cladodes (*Opuntia*, *Ficus indica* (L.) Maill. Var. *Lutea*) พบว่ามีการกระตุ้นการเจริญเติบโตในระยะแรก ของ vegetative bud อย่างมาก นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มน้ำหนักสดและกระตุ้นให้เกิดการแก่ก่อนวัย (precocity) ซึ่งความเข้มข้นที่ตอบสนองได้ดี คือ 0.001, 0.1 และ 10 มก/ล (Cortes *et al.*, 2002)

ไม่ผลที่ทำการพ่นก่อนมีดอกสามารถป้องกันการพักตัวของดอกในช่วงให้ดอก กระตุ้นการเจริญของผลและปรับปรุงลักษณะผิดปกติของผล ที่สำคัญคือเพิ่มขนาดของผลโดยทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น 15 - 50 % เช่น ลิ้นจี่ ลำไย สตรอเบอร์รี่และกล้วย นอกจากนี้ช่วยทำให้ แอปเปิล สาลี่ มีสีผิวสวยสว่างมันวาว ในส้ม Monta การใช้ brassinosteroid ช่วยกระตุ้นการติดผล ทำให้อัตราการติดผลเพิ่มขึ้นและทนสภาพอากาศหนาวเย็นทางใต้ของญี่ปุ่นได้ ทำให้ขนาดผลใหญ่ขึ้น (Chengdu Newsum Biochemistry Co. Ltd. 2003)

การพ่น brassinolide 0.5, 0.75 และ 1.0 มก/ล ให้กับผลลิ้นจี่ พบว่า brassinolide ช่วยลดการแตกของผลลิ้นจี่ได้และสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตให้มากขึ้น (Peng *et al.*, 2004)

Pipattanawong *et al.*, (1996) ศึกษา brassinolide ต่อการเจริญเติบโตของสตรอเบอร์รี่ พันธุ์ Miyoshi และ Enrai ที่ปลูกในสภาพปิด พบว่า brassinolide สามารถเพิ่มจำนวนใบ ความยาวของ petiole และ จำนวนหน่อ (crowns) ได้ 110-140 เปอร์เซ็นต์และเพิ่มพื้นที่ใบได้ถึง 150-180 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีผลต่อการเกิดไหล (runner) สำหรับน้ำหนักแห้งรวมของทุกส่วนที่ได้รับสารหนักกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มจำนวนดอกและช่อดอกต่อต้น แต่ไม่เพิ่มจำนวนดอกต่อช่อและเพิ่มจำนวนผลผลิตทั้งหมดต่อต้นของพันธุ์ Miyoshi แต่ไม่พบว่ามีผลต่อผลผลิตของพันธุ์ Enrai

การใช้ brassinosteroid กับแตงโมพบว่า ช่วยเพิ่มผลผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ (Wang *et al.*, 1993) ลดการหลุดร่วงของดอกอ่อนและผลขององุ่นและทำให้เกิดการสุกแก่เร็วขึ้น (Xu *et al.*, 1994) ช่วยขัดขวางการงอกในมันฝรั่งก่อนเวลาที่เหมาะสมต่อการงอก (Plonava and Korableva, 1994) ช่วยลดการปนเปื้อนของพืชจากโลหะหนัก (heavy metal) ที่มาจากการใช้ปุ๋ยเคมีช่วยลดการเกิดอาการ chlorosis จากการได้รับ magnesium ในปริมาณต่ำของต้นกล้า spruce ที่ปลูกโดยระบบ hydroponic มีผลทำให้เมล็ดพืชสูญเสียการงอก โดยเฉพาะถูกนำมาใช้กับเมล็ดของวัชพืชต่าง ๆ ลดอาการเครียดเมื่อนำกิ่งตอนของสนเข็มโดยที่ (22S, 23S)-28-

homoBL ทำให้เปอร์เซ็นต์รากที่เกิดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับสน (*Pinus radi*) มีเปอร์เซ็นต์รากที่เกิดเพิ่มขึ้น แต่พบว่ายับยั้งการเกิดรากในยูคาลิปตัส (Sasse, 1997)

พรศุณีและคณะ (2542) พบว่าในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และโชคอนันต์การงอกของละอองเรณูจะสูงขึ้นเมื่อใช้ brassinolide 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนพันธุ์มันเดือนเก้าความเข้มข้นที่ดีที่สุดคือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้การงอกของละอองเรณูพันธุ์น้ำดอกไม้จะสูงขึ้นเมื่อใช้ไซโตไคนิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมันเดือนเก้าการงอกของละอองเรณูจะสูงขึ้นเมื่อใช้ไซโตไคนิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนพันธุ์โชคอนันต์ใช้ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เสาวภา (2547) ศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต (NAA 50 มิลลิกรัมต่อลิตร + GA<sub>3</sub> 50 มิลลิกรัมต่อลิตร + BA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร + brassinolide 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่าทำให้ผลลำไยมีขนาดที่ใหญ่กว่าชุดควบคุมและการใช้ NAA 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.5 % พ่น 2 ครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ ทำให้การติดผลของผลลำไยน้อยที่สุดแต่ในด้านการเจริญเติบโตของผลและคุณภาพผลในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ชรัสพันธ์ (2548) ได้ทำการทดลองศึกษาผลของบราสิโนสเตียรอยด์โดยฉีดพ่นในปริมาณ 0, 0.004 และ 0.01 มก/ล พบว่าการฉีดพ่นบราสิโนสเตียรอยด์ 0.01 มก/ล ทำให้ผลลำไยมีขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนาของผลเพิ่มขึ้น

การใช้ 0.1% brassinolide 481 ในพืชพบว่ามี การเพิ่มขึ้นของ activity of SOD ในใบ โดยการกระตุ้นการเคลื่อนย้ายออกของ H<sup>+</sup> ลดการทำงานของ cell membrane เพื่อรักษา membrane ไว้ ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น เพิ่มอัตราการติดผล เพิ่มขนาดได้ในพืชหลายชนิด ส่งเสริมคุณภาพของผลผลิต เพิ่มผลผลิต เช่น ข้าวพบว่าในพื้นที่ 128 ลูกบาศก์ ฟุต (8x4x4) มีผลผลิตเพิ่มได้ 15 - 20 % ผลไม้ 15 - 35 % ผัก 20 - 45 % ฝ้ายและน้ำมัน 10 - 20 % และในพืชอีกหลาย ๆ ชนิดผลผลิตสามารถเพิ่มได้เช่นกัน (Chengdu Newsum Biochemistry Co. Ltd. 2003)

ในพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสงและพืชอื่น ๆ พบว่ามีความต้านทานโรคสูงและยังเพิ่มปริมาณและคุณภาพของถั่วได้ด้วย Mandava (1998) รายงานผลผลิตของ radish และ ผักกาดหอม (lettuce) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้บราสิโนสเตียรอยด์ นอกจากนี้บราสิโนสเตียรอยด์เพิ่มผลผลิตของผักต่าง ๆ เช่น พริก, bush bean, ข้าวบาเลย์และมันฝรั่ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับ การเกิดการสุกแก่ (maturation) ของพืชด้วย

การใช้บราซิโนสเตียรอยด์ในการกระตุ้นการสุกแก่ของมะเขือเทศ พบว่าสามารถชักนำให้เกิดการสุกได้โดยการเพิ่มเอทิลีน มีระดับของ lycopene และ chlorophyll ต่ำลง นอกจากนี้ยังเพิ่มการลดลงของ ascorbic acid และเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตด้วย (Vidya and Seeta, 2001)

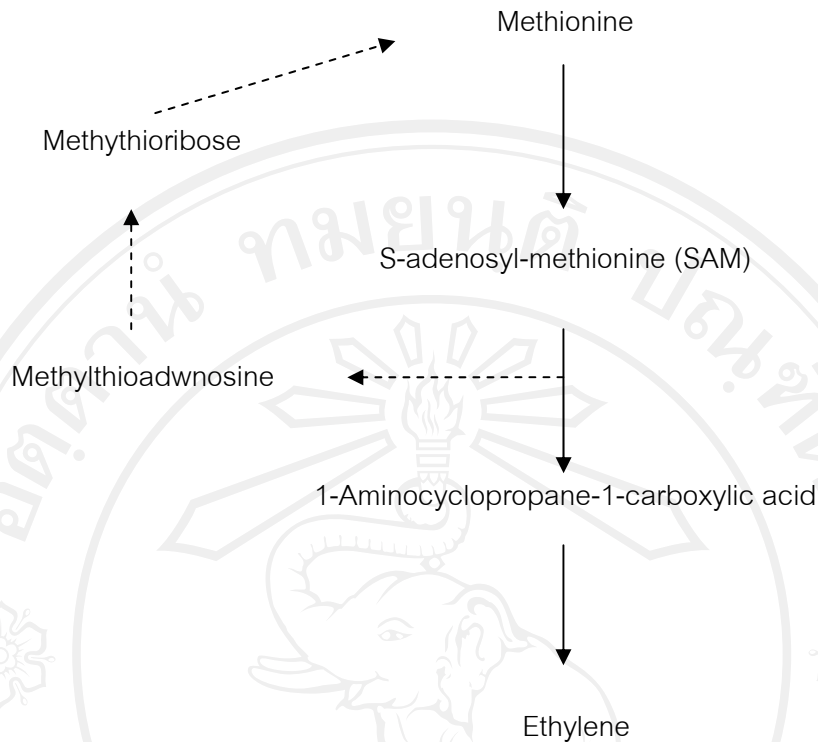
### เอทิลีน (Ethylene)

เอทิลีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว ที่มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติมีสูตรโครงสร้างเป็น  $C_2H_4$  เอทิลีนเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโต การพัฒนา การแก่และการเสื่อมสภาพ (दनัย, 2540) เอทิลีนมีผลยับยั้งการขยายขนาดความยาวของเซลล์ แต่กระตุ้นการขยายขนาดทางด้านข้าง ช่วยเร่งการสุกของผลไม้พวกบ่มสุก (climacteric fruit) กระตุ้นการร่วงของใบ ดอกและผล (สมบุญ, 2544) พืชสามารถตอบสนองต่อเอทิลีนที่มีความเข้มข้นต่ำมากคือ 0.01 - 10 สดล. (Abeles, 1973) ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่สร้างเอทิลีนได้แก่ เมล็ดที่กำลังงอก ปลายราก ปลายยอด กิ่งที่ถูกโค้งงอ ใบพืชที่กำลังร่วง (สมบุญ, 2544)

### การสังเคราะห์เอทิลีน

สารเริ่มต้นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์เอทิลีนคือ เมทไธโอนีน (methionine) ในต้นอ่อนนั้นเป็นส่วนสำคัญที่สังเคราะห์เอทิลีน ทั้งนี้เพราะมีออกซินอยู่ในบริเวณนั้นสูง และออกซินสามารถกระตุ้นให้เนื้อเยื่อสังเคราะห์เอทิลีนได้ รากสามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้บ้าง แต่ในปริมาณไม่มาก ส่วนดอกก็สร้างเอทิลีนได้และเอทิลีนมีผลทำให้ดอกไม้บางชนิดไม่บาน หรือเหี่ยวและกลีบดอกร่วง ผลไม้สุกสามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้มากกว่าไม้ผลที่ไม่สุก (दनัย, 2539)

วิธีการสังเคราะห์เอทิลีนในพืชชั้นสูงจะมี 3 ขั้นตอน คือ เมทไธโอนีน (methionine) เปลี่ยนเป็นสารตัวกลาง S-adenosyl-methionine (SAM) โดยอาศัยเอนไซม์ SAM synthase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้น ACC จะเปลี่ยนเป็นเอทิลีน โดยอาศัยเอนไซม์ ACC synthase (ภาพที่ 2) (Srivastava, 2002)



ภาพที่ 2 วิธีการสังเคราะห์เอทิลีน

### การเคลื่อนที่ของเอทิลีนในต้นพืช

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชในรูปของก๊าซ มีโมเลกุลขนาดเล็กละลายน้ำได้และละลายได้ดีในไขมัน สามารถเคลื่อนที่ได้ดีโดยกระบวนการแพร่ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ ช่องว่างระหว่างเซลล์ และเนื้อเยื่อพืชได้หรืออาจเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อ (สมบุญธรรม, 2544) ระดับของเอทิลีนในส่วนหนึ่งของพืชส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีนในส่วนอื่น ๆ ด้วย เช่น ถ้ามีปริมาณเอทิลีนมากในส่วนรากจะเกิดการกระตุ้นให้มีการเพิ่มระดับของเอทิลีนที่ยอดด้วย ซึ่งกลไกการกระตุ้นที่ยังไม่เข้าใจเด่นชัดนัก เอทิลีนอาจเคลื่อนที่ผ่านพืชในรูปของ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) (दनัย, 2539)

### ผลของเอทิลีนที่มีต่อพืช

ผลของเอทิลีนให้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพืช ได้แก่

1. ทำให้ยอดของต้นกล้าที่งอกในที่มืดโค้งงอคล้ายตะขอ (apical hook) ต้นกล้าที่งอกในที่มืดมีลำต้นยาว ไปไม่ขยายตัว สีขาวซีด ทั้งนี้เพราะปลายยอดของต้นกล้างอคล้ายสร้างสารเอทิลีนขึ้นมามาก (สมบุญธรรม, 2544)

2. กระตุ้นการเกิดรากขนอ่อนและรากพิเศษ (สมบุญ, 2544) เอทิลีนสามารถกระตุ้นให้เกิดรากได้ เช่น กระตุ้นการเกิดรากที่ใบ กิ่ง ก้าน ช่อดอก แต่การตอบสนองนี้ต้องใช้เอทิลีนความเข้มข้นสูงถึง  $10 \mu\text{l/l}$  (Taiz and Zeiger, 1991)

3. กระตุ้นการเจริญเติบโตทางด้านข้าง ต้นกล้าที่เพาะในที่มีดมีลักษณะลำต้นที่บวมพองเนื่องมาจากเอทิลีนยับยั้งการยืดตัวออกทางด้านยาวของลำต้นแต่มีผลในการกระตุ้นให้เซลล์ขยายออกทางรัศมี (สมบุญ, 2544)

4. กระตุ้นการสร้างตาดอก เอทิลีนสามารถเร่งการเกิดดอกของพืชบางชนิดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ ethephon เร่งการเกิดดอกของต้นสับปะรด ซึ่งการกระตุ้นการออกดอกโดยใช้ ethephon เกิดขึ้นได้กับพืชบางชนิดเท่านั้น (สมบุญ, 2544)

5. เร่งการสุกของผลไม้ อาจเรียกเอทิลีนว่า ripening hormone และใช้ในการบ่มผลไม้ในทางการค้า (दनัย, 2539) ผลไม้เมื่อแก่จัดและเข้าสู่ระยะการสุกอาจมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นมาซึ่งเอทิลีนที่ผลไม้สร้างขึ้นนั้นเป็นตัวการสำคัญที่กระตุ้นให้ผลไม้สุก (พีรเดช, 2537) ในการบ่มผลไม้โดยการใช้เอทิลีนโดยตรงทำได้ยากในไทยนิยมใช้ถ่านก๊าซ (calcium carbide) ห่อกระดาษวางไว้กลางภาชนะที่บรรจุผลไม้ เมื่อผลไม้คายไอน้ำทำปฏิกิริยากับถ่านก๊าซ เกิดก๊าซอะเซทิลีน (acetylene) ซึ่งสูตรโครงสร้างและคุณสมบัติคล้ายก๊าซเอทิลีน (สมบุญ, 2544)

6. เร่งการเกิดการร่วงของใบ ดอก ผล ฯลฯ ซึ่งกระตุ้นให้เกิด abscission zone ขึ้นทำให้ใบและกลีบดอกร่วงได้และการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ทางคุณภาพของรากและลำต้น (दनัย, 2539)

7. การทำลายการพักตัวของพืช พืชหัวบางชนิด เช่น มันฝรั่ง แกลดิโอลัส มีระยะพักตัวการที่ทำให้พืชเหล่านี้งอก ต้องนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำระยะหนึ่งก่อนการนำไปปลูก เอทิลีนสามารถกระตุ้นการงอกและช่วยย่นระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้สามารถนำหัวไปปลูกแล้วให้ผลผลิตเร็วขึ้นได้ (สมบุญ, 2544)

8. ช่วยกระตุ้นการเร่งผลิตน้ำยางในต้นยางพาราที่มีอายุสูง และเร่งการไหลน้ำยางพารานอกจากนี้แล้วยังช่วยผลิตปาเปนในมะละกออีกด้วย (สมบุญ, 2544)

9. ช่วยในการสร้างหัว การฉีดพ่นอีเทรลกับต้นหอมในระยะแรกของการเจริญเติบโตทำให้ต้นหอมสร้างหัว (bulb) ได้เร็วขึ้น (สมบุญ, 2544)

10. เอทิลีนยับยั้งการเคลื่อนย้ายออกซินคือการเคลื่อนของออกซินจากปลายยอดสู่โคนต้นด้านล่างและทางด้านข้างชะงัก (สมบุญ, 2544)

11. กระตุ้นให้เกิดดอกตัวเมียมากขึ้นในพืช dioecious (दनัย, 2539)



12. มีผลกระทบต่อรสชาติของพืชบางชนิด เช่น แครอท ถ้าได้รับเอทิลีนในปริมาณสูงเกิดรสขม เพราะเอทิลีนกระตุ้นให้มีการสร้างสาร isocoumarin นอกจากนั้นเอทิลีนยังทำให้รสชาติของมันเทศเสียไปด้วยเพราะเกิดสาร ipomeamarone (दनय, 2540)

### ผลของบราสิโนสเตียรอยด์ต่อการส่งเสริมการสังเคราะห์ของเอทิลีน

ชิ้นส่วนของ hypocotyl ที่ชืดขาว (etiolated) ของถั่วเขียวเมื่อได้รับบราสิโนสเตียรอยด์จากภายนอก ก่อให้เกิดการสร้างเอทิลีนขึ้นในขั้นตอนระหว่าง S-Adenosyl-L-methionine (AdoMet) และ 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยจะกระตุ้นการทำงานของ ACC synthase ซึ่งเอทิลีนที่เกิดจากการกระตุ้นโดยบราสิโนสเตียรอยด์นี้ถูกยับยั้งโดย amino-oxyacetic acid (AOA),  $Co^{2+}$ , fusicocin (สารพิษที่เกิดจากเชื้อรา) และสารยับยั้งการลำเลียง auxins ได้แก่ 2,3,4-triiodobenzoic acid และ 2-(p-chlorophenoxy)-2-methylpropionic acid สารบราสิโนสเตียรอยด์จะออกฤทธิ์ควบคู่ไปกับ ออกซิน และ แคลเซียม ได้โดยที่มีอิทธิพลในทางเพิ่มประสิทธิภาพ เมื่อใช้ร่วมกับไซโตไคนิน ในการกระตุ้นการสร้างเอทิลีนนอกจากนี้ยังพบว่า แสงจะยับยั้งการสร้างเอทิลีนที่เกิดจากการกระตุ้นโดยบราสิโนสเตียรอยด์ แต่แสงจะมีอิทธิพลน้อยมากต่อการสร้างเอทิลีน ที่เกิดจากการตอบสนองต่อ IAA (Arteca *et al.*, 1993) การให้บราสิโนสเตียรอยด์ที่รากของต้นมะเขือเทศที่เพาะเลี้ยงในสารละลาย พบว่ามีการส่งเสริมให้เกิดการเพิ่มขึ้นขั้นตอนระหว่าง AdoMet และ ACC ซึ่งจะเกิดผลทำให้ ACC และเอทิลีนเพิ่มขึ้น และเกิดการโค้งงอของก้านใบ (petiole) เพิ่มขึ้นด้วย (Schlaghauer and Arteca, 1985) บราสิโนสเตียรอยด์มีอิทธิพลในการส่งเสริมการสร้างเอทิลีนในส่วนต่าง ๆ ของพืชและในระบบต่าง ๆ ของพืชทั้งต้น ซึ่งไม่เหมือนกับออกซินที่มีอิทธิพลมากกว่าในส่วนของพืชที่แยกออกมาจากต้นแม่แล้วเท่านั้น

การศึกษาเกี่ยวกับ pleiotropic effects (การที่ยีน (gene) ตัวเดียวสามารถบังคับลักษณะได้มากกว่าหนึ่งลักษณะ) โดยใช้บราสิโนสเตียรอยด์ในการสุกของมะเขือเทศ พบว่าระดับของ lycopene สูงขึ้นและปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ปริมาณ ascorbic acid ลดลงและเพิ่ม carbohydrate contents ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของเอทิลีน จึงเกิดการเสื่อมสภาพ (senescence) ขึ้น (Vidya and Seeta, 2001)

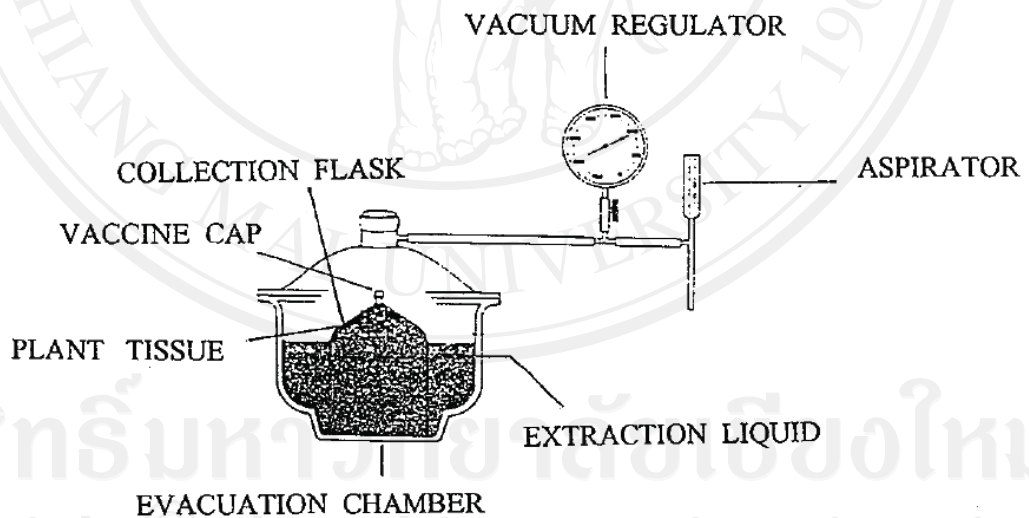
### การหาปริมาณเอทิลีนในต้นพืช

การสกัดก๊าซจากตัวอย่างพืชเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณเอทิลีน วิธีการที่เหมาะสมและนิยมในการหาปริมาณเอทิลีน คือ physical measurement ฉะนั้นจึงได้นำวิธีการนี้มากล่าวรายละเอียดดังนี้

เนื่องจากเอทิลีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวที่มีสถานะเป็นก๊าซ (दनัย, 2540) ดังนั้นการวัดเอทิลีนส่วนใหญ่ ทำโดยการสกัดเอาก๊าซที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular gas) ในภาชนะที่ปิดสนิทที่มี septum ซึ่งสามารถใช้เข็มฉีดยาดูดเอาตัวอย่างออกมาและนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทิลีน (Abeles, 1973)

Saltveit (1982) รายงานขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ก๊าซภายในตัวอย่างพืชโดยการสกัดเอาตัวอย่างก๊าซออกจากผลไม้ที่มีช่องว่างภายใน เช่น แคนตาลูปและแอปเปิล โดยใช้ syringe การนำตัวอย่างก๊าซออกมา สามารถทำได้โดยแทงเข็มฉีดยาแบบ hollow hypodermic เข้าไปในช่องว่างของผลไม้ และดูดก๊าซออกมา สภาพสุญญากาศทำให้ก๊าซไหลจากเนื้อเยื่อพืชเข้าไปใน syringe ซึ่งควรทำภายใต้สารละลายเข้มข้น แต่สภาพที่เนื้อเยื่ออยู่ในอากาศนั้นทำให้อากาศจากภายนอกปนเข้าไปในกระบอกฉีดยาได้ ซึ่งป้องกันได้โดยใช้ฝั่งอุดรอบ ๆ รอยแทงเข็ม

ในกรณีของผลหรือเนื้อเยื่อผล ที่ตัวอย่างก๊าซไม่สามารถเอาออกมาได้ ด้วยวิธีการใช้ syringe เช่น กิ่ง ใบ หรือ ยอด เนื้อเยื่อผลบางชนิด วิธีการสกัดทำได้โดยวิธี vacuum โดยเครื่องมือสำหรับสกัดก๊าซที่มีอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อพืช (Beyer and Morgan, 1970)

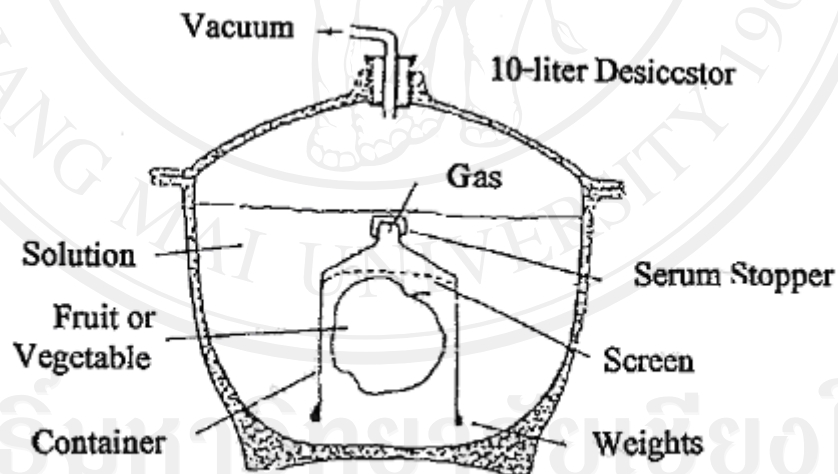


ภาพที่ 3 เครื่องมือสกัดก๊าซที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จากเนื้อเยื่อพืช (Beyer and Morgan, 1970)

การสกัดด้วยวิธี vacuum ต้องให้ตัวอย่างพืชอยู่ใต้ของเหลว ทำให้ก๊าซขยายตัว และซึมออกมาจนเซลล์ไปสะสมบริเวณเหนือของเหลวในภาชนะที่ปิดสนิท (Beyer and Morgan, 1970) ของเหลวที่ใช้เป็นสารละลายอิมมัลชันของโซเดียมคลอไรด์แอมโมเนียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต (Saltveit, 1982) โดยสารละลายเกลือใช้ได้ดีกว่าน้ำ จึงช่วยลดปัญหาการละลายน้ำของ เอทิลีน (Beyer and Morgan, 1970)

เมื่อเอาตัวอย่างพืชใส่ไว้ใน collection flask และจุ่มอยู่ใต้สารละลายเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่อิมมัลชัน ก่อนนำตัวอย่างพืชใส่ใน collection flask ให้จุ่มใน surfactant (0.01%) เช่น Tween 20 ก่อนเพื่อป้องกันฟองอากาศมาเกาะอยู่ตรงบริเวณเนื้อเยื่อพืช หลังจากนั้นให้รีบปิดฝา evacuation chamber และเปิดเครื่องดูดอากาศออกด้วยแรง vacuum ที่สม่ำเสมอ 100 มิลลิเมตรปรอท นาน 2 นาที (Beyer and Morgan, 1970)

นอกจากเครื่องมือในการสกัดก๊าซออกจากตัวอย่างพืชของ Beyer and Morgan (1970) แล้ว Saltveit (1982) ได้แสดงเครื่องมือในการสกัดก๊าซโดยใช้ vacuum ด้วยเช่นกัน มีหลักการเดียวกับ Beyer and Morgan (1970)



ภาพที่ 4 เครื่องมือการสกัดก๊าซออกจากตัวอย่างพืชของ Saltveit (1982)

นอกจากนี้ปริมาณและเวลาที่ใช้ในการ vacuum มีความสำคัญต่อการทำ vacuum กับเนื้อเยื่อพืช พบว่าการใช้ vacuum (ที่ต่ำ) 100 มิลลิเมตรปรอท ทำให้ใช้เวลานานขึ้น การลดแรง vacuum ลงทำให้เกิดการปลดปล่อยเอทิลีนจากส่วนที่ละลายอยู่หรือส่วนของ bound เอทิลีน ดังนั้นไม่ควรใช้ vacuum ที่ต่ำกว่า 100 มิลลิเมตรปรอท และในการนำก๊าซตัวอย่างออกมาจาก

ผลไม่ด้วยการที่สกัดโดยการใส่ syringe มีปริมาณเอทิลีนน้อยกว่าตัวอย่างที่ได้สกัดด้วยวิธี vacuum เช่น การสกัดออกจากผลแอปเปิลและแคนตาลูป พบว่าการสกัดด้วยวิธี vacuum มีระดับเอทิลีนสูงกว่าการสกัดด้วยวิธีการใช้ syringe คือได้ก๊าซปริมาณ 20 และ 30 % ตามลำดับ (Saltveit, 1982)

### คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารชีวโมเลกุลที่เป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกอัลดีไฮด์ หรือคีโตน ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) หลายหมู่ในโมเลกุล ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยคาร์โบไฮเดรตมีหลายชนิดทั่วไปในธรรมชาติ ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของพืช เช่น แป้ง น้ำตาลและเซลลูโลส ทำหน้าที่เหมือนเป็นเสบียงเก็บไว้เมื่อต้องการ คาร์โบไฮเดรตบางชนิดทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช บางชนิดรวมอยู่กับชีวโมเลกุลอื่น เช่น โปรตีนและไขมัน ได้แก่ ไกลโคโปรตีน ไกลโคลิปิด เป็นต้น (พนม, 2531)

ความต้องการคาร์โบไฮเดรตของพืชมีการเพิ่มขึ้นตามอายุ ดังนั้นทำให้ผลต่างระหว่างการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตกับการหายใจเป็นตัวกำหนดปริมาณคาร์โบไฮเดรต ซึ่งพบว่าในขณะที่พืชมีการสังเคราะห์โปรตีน มีการสะสมคาร์โบไฮเดรตลดลง (สุรนนท์, 2526) นอกจากนี้ยังมีสมมติฐานเกี่ยวกับ C/N ratio เป็นสัดส่วนที่บ่งบอกถึงปริมาณของสารอาหารที่สะสมอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรตและปริมาณสารประกอบที่มีไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการออกดอก (จ่านงค์, 2542) ซึ่งปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง เป็นแหล่งของพลังงานที่เก็บไว้ในส่วนของ vegetive organ และนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต ประกอบด้วยน้ำตาล แป้ง dextrin fructosans เป็นต้น โดยไม่รวมคาร์โบไฮเดรตในรูปโครงสร้าง (structural carbohydrate) (Salisbury and Ross, 1992) เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบ หรือในยอดในช่วงก่อนการออกดอก หรือแตกใบอ่อนในลิ้นจี่และปริมาณลดลงเมื่อมีการออกดอก หรือแตกใบอ่อน (Chaitrakulsup, 1981) ในส้มจีน (*Citrus reticulata* Blanco) พันธุ์ Yoshida พบว่าถ้ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในใบมาก การเจริญทางด้านกิ่งใบจะน้อยแต่การติดดอกจะมากขึ้น (Maata and Tominaga, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับ ศิริเพ็ญ (2544) ที่ได้ศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในยอดลำไย พบว่ามีความเข้มข้นคงที่ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 - 4 ก่อนการแตกใบอ่อน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่มีการแตกใบอ่อนนอกจากนี้ วันทนา (2543) รายงานว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในยอดลำไยค่อนข้างคงที่ในสัปดาห์ที่ 8 และ 6 ก่อนการออกดอก และเพิ่มขึ้นสูงสุดใน

สัปดาห์ที่ 4 ก่อนการออกดอก หลังจากนั้นจะลดลงในสัปดาห์ที่ 2 ก่อนการออกดอก ซึ่งเห็นได้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรต ที่ไม่ได้เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกดอกเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Bernier *et al.*, (1985) ได้กล่าวเน้นว่าธาตุอาหารเป็นเพียงส่วนสนับสนุนการออกดอกเท่านั้นไม่ได้เป็นตัวควบคุมการออกดอก เนื่องจากการสร้างดอกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัยด้วยกัน

### น้ำตาล

น้ำตาลในผักและผลไม้ที่สำคัญคือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งพบสะสมในแวคิวโอล (vacuole) เป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดในผลผลิตต่าง ๆ แตกต่างกัน น้ำตาลทั้ง 3 ชนิดนี้อาจเปลี่ยนรูปกันได้ด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น invertase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุกโตส ในการศึกษา มักจะรวมน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเข้าด้วยกันเรียกว่า น้ำตาลรีดิวิซิง ในผลไม้ส่วนใหญ่ มักจะมีน้ำตาลกลูโคสมากกว่าฟรุกโตส ในบางกรณีอาจมีน้ำตาลกลูโคสมากกว่าเป็น 2 เท่าของน้ำตาลฟรุกโตส

ขณะที่ผลและเมล็ดกำลังเจริญเติบโต จะมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกิดขึ้น ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสรีรวิทยาโดยมักจะเริ่มจากการสะสมน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตสในออวูล (ovule) ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ผนังเซลล์และแบ่ง หรืออาจถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันหรือลิปิดชนิดอื่น ๆ น้ำตาลถูกสังเคราะห์มาจากใบและถูกลำเลียงผ่านโฟลเอ็ม (phloem) มาสะสมที่ผลและเมล็ด ผลจัดเป็น strong sink มากกว่าส่วนอื่น ๆ ในต้นเดียวกัน (นิตย์, 2541)

ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซิง ของผลมะม่วงพันธุ์หนึ่งกลางวันผลดิบ ตลอดการเติบโตของผลที่มีค่าสูงสุดในวันที่ 49 หลังจากติดผล เท่ากับ 148.72 มิลลิกรัม กลูโคสต่อกรัมน้ำหนักแห้งจากนั้นปริมาณรีดิวิซิงมีแนวโน้มลดลง การศึกษาปริมาณรีดิวิซิงในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าตลอดการเจริญเติบโตของผลมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่เช่นกัน (ดวงตรา, 2526) และมะม่วงพันธุ์อัลฟองซีมีปริมาณรีดิวิซิงลดลงขณะที่ผลเติบโตขึ้น ซึ่งลักษณะนี้คล้ายกับมะม่วงอีกหลายพันธุ์ จากนั้นจะสูงขึ้นและค่อย ๆ ลดลงเมื่อผลมีการหายใจสูงขึ้นและโตขึ้น (อัจนรา, 2545)

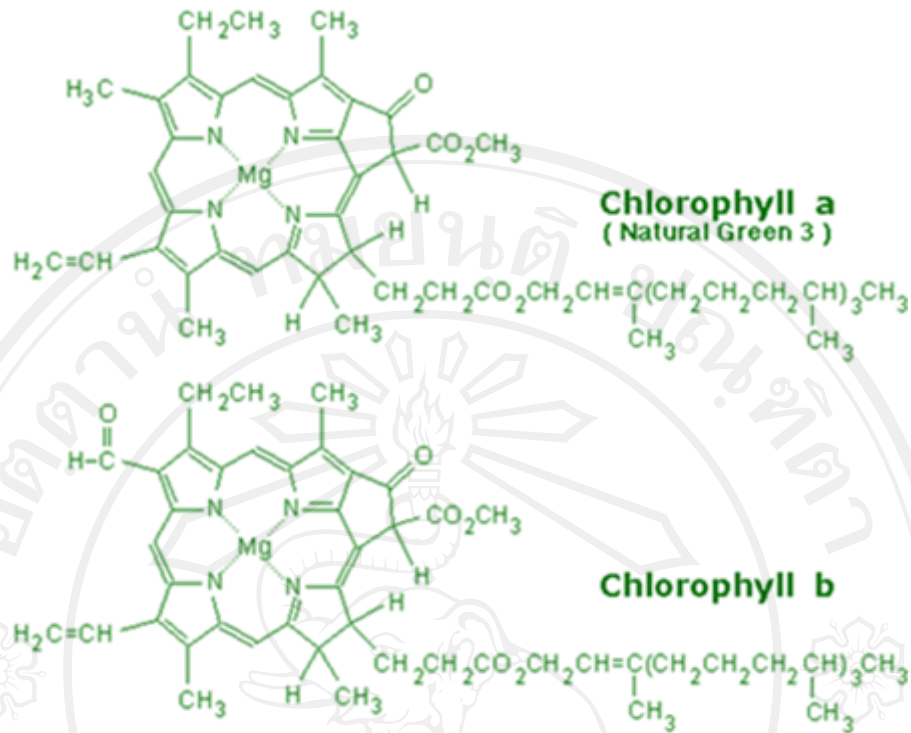
น้ำตาลรีดิวิซิง ในผลมะม่วงพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวิซิงลดลงตลอดการเติบโตตามการพัฒนาของผล (สรรพมงคล, 2545) และเมื่อผลแก่เต็มที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซิงจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ

## คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

คลอโรฟิลล์ เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช โดยพบมากที่สุดที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผลและรากที่มีสีเขียวและยังพบได้ในสาหร่ายทุกชนิด นอกจากนี้ยังพบได้ในแบคทีเรียบางชนิดคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสงและนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมี โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต คลอโรฟิลล์ อยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่า เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มที่อยู่ภายใน คลอโรพลาสต์ (chloroplast)

โครงสร้างทางเคมี คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ละลายได้ดีในอะซีโตนและแอลกอฮอล์ โครงสร้างอาจแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนหัวและส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วงและมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ตรงกลางโดยทำพันธะกับไนโตรเจน ส่วนหัวนี้มีขนาดประมาณ  $1.5 \times 1.5$  อังสตรอม ส่วนหางของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม มีความยาวประมาณ 2 อังสตรอม คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงคลื่นของแสงสีฟ้าและสีแดง แต่ดูดกลืนช่วงแสงสีเขียวและเขียวได้น้อย ดังนั้นเมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีฟ้าและสีแดงไว้ ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ดูดกลืนจึงสะท้อนออกมา ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว

ในธรรมชาติมีคลอโรฟิลล์อยู่หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกัน คือ วงแหวนไพโรล 4 วง แต่โซ่ข้าง (side chain) ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไป เช่น คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี มีโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น (ภาพที่ 5) นั่นคือ ที่วงแหวนไพโรลวงที่สองของคลอโรฟิลล์ เอ มีโซ่ข้างเป็นหมู่เมทิล ( $-\text{CH}_3$ ) ส่วนของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ ( $-\text{CHO}$ ) ซึ่งการที่โครงสร้างที่ต่างกันนี้ ก็ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วย โดยเฉพาะด้านการละลายโดยที่ หมู่เมทิลของคลอโรฟิลล์ทำให้โมเลกุลมีขั้ว ดังนั้นจึงละลายได้ดีในสารละลายที่มีขั้ว เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ ส่วนหมู่อัลดีไฮด์ซึ่งไม่มีขั้ว จึงทำให้คลอโรฟิลล์ บี ละลายได้ดีในตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น ปีโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) รวมทั้งคุณสมบัติการดูดกลืนแสงก็ต่างกันด้วย และทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ มีสีเขียวเข้มส่วนคลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวอ่อน (ภาควิชา ,2550)



ภาพที่ 5 โครงสร้างคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี

คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการในการสังเคราะห์แสง มีการสรุปว่ามีกลุ่มของรงควัตถุ 2 กลุ่ม เรียกว่า photosystem ทำงานร่วมกันและก่อให้เกิดการสังเคราะห์แสงที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงฟาเรดและแสงสีแดง

รงควัตถุ กลุ่มแรกเรียกว่า photosystem I ซึ่งประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ เอ เป็นจำนวนมาก และ photosystem II จะประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ บี เป็นจำนวนมาก photosystem I เป็นรงควัตถุที่สามารถดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 680 นาโนเมตร และแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 680 นาโนเมตร ส่วน photosystem II จะดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 680 นาโนเมตร ภายในโธลาคอยด์ มีโปรตีน และโมเลกุลอีกหลายชนิด ซึ่งเรียงตัวกันอยู่ใน photosystem ทั้งสอง เพื่อให้เกิดการถ่ายอิเล็กตรอน จากความยาวคลื่น 680 และ 700 นาโนเมตร (Menzel and Waite, 2005)

## โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญพบในสิ่งมีชีวิตทั้งในคนสัตว์ พืช จุลินทรีย์ รวมทั้งไวรัส สิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบสำคัญ โปรตีนสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่างจึงมีความสำคัญมากต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เซลล์และอวัยวะทุกส่วน มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบด้วยทั้งสิ้น (ไพโรจน์, 2538)

**โครงสร้างของโปรตีน** (พวงาม, 2541)

**โครงสร้างปฐมภูมิ** (primary structure) หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนในลักษณะที่กรดอะมิโน เรียงตัวเป็นสายโซ่พอลิเพปไทด์ที่จำเพาะ

**โครงสร้างทุติยภูมิ** (secondary structure) หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนในลักษณะที่มีโซ่พอลิเพปไทด์ขดม้วนเป็นเกลียวในลักษณะเกลียวอัลฟา หรือโครงสร้างแบบซิกแซกมาเรียงขนานกันเป็นแผ่นพับ (pleated sheet) โดยคงรูปอยู่ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) โครงสร้างนี้พบในโปรตีนเส้นใย

**โครงสร้างตติยภูมิ** (tertiary structure) หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนในลักษณะที่มีโซ่พอลิเพปไทด์ขดม้วนแน่นในลักษณะกลมโดยคงรูปอยู่ได้ด้วยพันธะไดซัลไฟด์และพันธะอ่อน ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic bond) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) โครงสร้างนี้พบในโปรตีนกลอบูลาร์

**โครงสร้างจตุรภูมิ** (quaternary structure) หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนในลักษณะที่มีโซ่พอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งโซ่อยู่รวมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก และแรงแวนเดอร์วาลส์ แต่ละโซ่พอลิเพปไทด์ อาจเรียกว่า หน่วยย่อย (subunit) หรือ โปรโตเมอร์ (protomer) ซึ่งอาจจะเหมือนกัน หรือต่างกันก็ได้ โปรตีนที่มีโครงสร้างลักษณะนี้ เรียกว่า โอลิโกเมอร์ิกโปรตีน (oligomeric protein) เช่น ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วยโซ่อัลฟา 2 โซ่ และโซ่เบตา 2 โซ่

### คุณสมบัติของโปรตีน

1. เกิดปฏิกิริยาไบยูเรต (Biuret reaction) ได้นั้นคือ เพปไทด์และโปรตีนสามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{CuSO}_4$  ในด่างให้สารเชิงซ้อน (complex) ระหว่าง  $\text{Cu}^{2+}$  และเพปไทด์ได้สารสีม่วง จึงนำมาใช้ในการหาปริมาณของโปรตีน

2. โปรตีน สามารถดูดแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 180 - 220 นาโนเมตร และช่วงอินฟราเรด



3. โปรตีนสามารถสูญเสียแอกติวิตีทางชีวภาพ (denaturation) โดยพันธะอ่อน จะถูกทำลายไป สาเหตุมาจาก ภาวะที่อุณหภูมิที่สูงเกินไป การเปลี่ยนแปลง pH ที่สูงหรือต่ำเกินไป และ สารบางชนิด เช่น ยูเรีย และกวานิดิเนียม ไอออน (guanidinium ion) ดังนั้น จึงใช้สารเหล่านี้ในการแยกหน่วยย่อยของโปรตีนออกจากกัน ส่วนพันธะ เพปไทด์และพันธะไดซัลไฟด์ยังคงอยู่ ซึ่งพันธะไดซัลไฟด์สามารถ ถูกทำลายได้ด้วยสารเคมี เช่น กรดเพอร์ฟอร์มิก (performic acid) และตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น เบตา-เมอร์แคปโตเอทานอล และไดไธโอไธรอล (dithiothreitol) กระบวนการแอนนีลิ่ง (annealing หรือ renaturation หรือ refolding) เป็นกระบวนการทำให้โปรตีนที่สูญเสียแอกติวิตี ทางชีวภาพกลับมีแอกติวิตีทางชีวภาพเหมือนเดิมหลังจากที่แยกเอาตัวทำลาย สภาพการขาดตัวออกไป อาจกระทำโดยวิธีไดอะลิซิส (dialysis)

4. โปรตีนสามารถแยกตัวได้เช่นเดียวกับกรดอะมิโน ดังนั้นที่จุด pi โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถ เคลื่อนที่ได้ในสนามไฟฟ้า ที่จุด pH สูงกว่า pi โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นลบ ทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก และที่จุด pH ต่ำกว่า pi โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นบวก ทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ

5. โปรตีนส่วนใหญ่ละลายได้ในน้ำหรือสารละลายเกลือที่เจือจาง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของโปรตีน มีดังนี้

5.1 ความเข้มข้นของเกลือ โปรตีนจะละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ลงไป ในปริมาณน้อย เรียกว่า salting in แต่เมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ลงไป ในปริมาณที่มาก ๆ โปรตีนกลับละลายลดลง และเกิดการตกตะกอนเพิ่มขึ้น เรียกว่า salting out ดังนั้น จึงนำเทคนิค salting out มาใช้ในการทำให้โปรตีนบริสุทธิ์โดยไม่ทำให้โปรตีน เสียแอกติวิตีทางชีวภาพ เช่น ใช้เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) ในการตกตะกอนโปรตีน

5.2 ในสภาพที่เป็นต่าง ไอออนของโลหะหนัก เช่น  $\text{Cd}^+$   $\text{Cu}^{2+}$   $\text{Fe}^{2+}$   $\text{Hg}^{2+}$   $\text{Pb}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  สามารถตกตะกอน โปรตีนที่มีประจุสุทธิเป็นลบได้ และในสภาพที่เป็นกรด โปรตีนมีประจุสุทธิเป็นบวกสามารถจับกับ anion ของกรดบางชนิด เช่น กรดไตรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic acid หรือ TCA) และตกตะกอนโปรตีนได้

5.3 pH มีผลทำให้ประจุสุทธิบนโมเลกุลของโปรตีนเปลี่ยนแปลงได้ และโปรตีนจะละลายได้น้อยที่สุด หรือตกตะกอนได้มากที่สุด ที่จุด pi ของมัน เนื่องจากโปรตีนมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ เรียกการตกตะกอน โปรตีนที่จุด pi ว่า isoelectric precipitation

5.4 ความร้อน มีผลทำให้การละลายของโปรตีนลดลง ทั้งนี้เพราะไปทำลาย weak bond ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน

5.5 ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน และเอทานอล สามารถตกตะกอนโปรตีนได้ดีที่อุณหภูมิใกล้ 0 °C หรือ ต่ำกว่าโดยไม่เสียแอกติวิตีทางชีวภาพ เพราะไปลดความสามารถในการทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ของน้ำได้ นอกจากนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide, DMSO) และ N,N-ไดเมทิล ฟอร์มาไมด์ (N,N-dimethylformamide, DMF) ก็เป็นตัวทำละลายของโปรตีนที่ดีในภาวะอุณหภูมิปกติ

### ผลบราสซิโนสเตียรอยด์ต่อการสังเคราะห์โปรตีน

การกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตโดยฮอร์โมนพืชนั้นเป็นผลโดยการเกิด nucleic acid synthesis ขึ้น เมื่อให้สารบราสซิโนสเตียรอยด์กับต้นถั่ว (bean) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของ RNA polymerase และ DNA polymerase อย่างชัดเจน ตลอดจนมีการสังเคราะห์ RNA, DNA และโปรตีนเพิ่มขึ้น สารยับยั้งการสร้าง RNA และการสังเคราะห์โปรตีนจะไปขัดขวางการยืดยาวของ epicotyl ที่ได้รับการกระตุ้นโดยบราสซิโนสเตียรอยด์ ผลของการเจริญเติบโตที่กระตุ้นโดยบราสซิโนสเตียรอยด์ขึ้นอยู่กับ การสังเคราะห์ nucleic acid และโปรตีนต่าง ๆ ในระดับความเข้มข้นต่ำ (Mandava, 1988) บราสซิโนสเตียรอยด์กระตุ้นการยืดยาวในถั่วเหลือง รูปแบบการแสดงออกของยีนถูกเปลี่ยนแปลงโดยบราสซิโนสเตียรอยด์ไม่ว่าจะมี IAA ร่วมด้วยหรือไม่ก็ตาม แสดงให้เห็นว่าบราสซิโนสเตียรอยด์สามารถออกฤทธิ์ได้โดยตัวของมันเองแต่อาจเป็นไปได้ว่าบราสซิโนสเตียรอยด์ อาจจะทำออกฤทธิ์ร่วมกับออกซินที่มีอยู่ภายในพืช งานวิจัยเพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของบราสซิโนสเตียรอยด์ ที่มีต่อยีนซึ่งควบคุมโดยออกซิน พบว่า กลไกในระดับโมเลกุลของการยืดยาว ซึ่งกระตุ้นโดยบราสซิโนสเตียรอยด์ นั้นแตกต่างจากการยืดยาวที่ถูกกระตุ้นโดยออกซิน (Clouse *et al.*, 1992) ล่าสุดได้ค้นพบยีนที่บราสซิโนสเตียรอยด์ ควบคุมและทราบโครงสร้างได้ จากการศึกษากายการยืดยาวของ epicotyls ของถั่วเหลือง (Zurek and Clouse, 1994) นอกจากนี้เมื่อให้บราสซิโนสเตียรอยด์ และ IAA ร่วมกับชิ้นส่วน hypocotyl ที่ยืดยาวของถั่วเขียวจะพบความสัมพันธ์ที่ร่วมกันกระตุ้น ACC synthase เกิดจากการกระตุ้นโดย IAA ซึ่งได้จากการศึกษาในเนื้อเยื่อดังกล่าว การใช้ cDNA เป็น probe ได้แสดงให้เห็นว่า บราสซิโนสเตียรอยด์สามารถทำให้ยีนสำหรับ ACC synthase ทำงานได้ (Arteca *et al.*, 1993)

เมื่อใช้ 24-rpibrassinolide แก่ต้นถั่วเขียว (mung bean) พบว่ามี DNA, RNA เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมี activity ของ RNA polymerase เพิ่มอีก แต่พบว่า activity ของ RNAase และ DNAase ลดลง (Xu *et al.*, 1994) สำหรับในกะหล่ำปลี Chinese cabbage นั้นพบว่ามี การเพิ่มขึ้นของ soluble proteins (Nakajima *et al.*, 1996)

Vidya and Seeta (2001) ทำการศึกษาผลบราซิโนสเตียรอยด์ ต่อการเจริญเติบโตอัตราของเมแทบอลิซึมและผลผลิตของถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) พบว่าบราซิโนสเตียรอยด์มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ DNA, RNA, soluble protein และ carbohydrates ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของผลผลิตและปริมาณน้ำมัน (fat)

### เทคนิคในการวัดปริมาณโปรตีนในสารละลาย

เทคนิคในการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน สามารถทำได้หลายวิธีโดยแต่ละวิธีจะมีความไว (sensitivity) ต่อการวิเคราะห์และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในสารละลายโปรตีนหรือปริมาณโปรตีนในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ สำหรับในการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการหาปริมาณโปรตีน คือ วิธี protein-dry binding หรือ Bradford (Bradford, 1976) โดยโปรตีนจะทำปฏิกิริยากับสีย้อม coomassie brilliant blue G-250 ในสารละลายกรด ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีแดง สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร ปฏิกิริยาเกิดขึ้นจากการจับกันของโปรตีนกับสีย้อมที่อยู่ในสารละลายกรด และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ซึ่งดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาระหว่างประจุลบ (sulfonic acid group) ของสีย้อมกับประจุบวก (amino group) ของโปรตีน ปฏิกิริยานี้เกิดได้อย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 2 นาที และสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีเวลาความเสถียรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง การวิเคราะห์โปรตีนวิธีนี้ทำได้ 2 วิธีคือ วิธีมาตรฐาน ซึ่งเหมาะสำหรับ ตัวอย่างโปรตีนที่มีปริมาณ 20 - 200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และวิธีปริมาณน้อย ซึ่งใช้สำหรับกรณีที่สารตัวอย่างมีโปรตีนปริมาณน้อย 0.2 - 1.4 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ข้อดีของการหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีนี้คือ ทำได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งมีการรบกวนจากอิมออนและสารประกอบต่าง ๆ เช่น triton X-100, sodium dodecyl sulfate (SDS) และอะซีโตนน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ถูกรบกวนจากบัฟเฟอร์ที่มีสมบัติเป็นด่างแก่ ซึ่งต้องใช้ tris เป็นตัวควบคุม วิธีนี้สามารถใช้หาปริมาณโปรตีนในสารละลาย crude protein หรือ undialysed proteins ได้ดีและให้ผลถูกต้องกว่าวิธีอื่น ๆ ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โปรตีนในปริมาณปานกลางและปริมาณต่ำตามลำดับ (Bradford, 1976 ; Caprette, 1997)