บทที่ 2
เนื้อเรื่อง

2.1 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัณณธร (2547) ได้ให้ความเห็นว่าระบบการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตโดยการควบคุมสภาพบรรยากาศ ที่ทำการศึกษาในส้มสายน้ำผึ้งเป็นตัวอย่างในการทดลอง เพื่อทำการศึกษาผลของบรรยากาศที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0 2.5 และ 5 ร่วมกับแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ต่ออายุการเก็บรักษาของส้มสายน้ำผึ้ง เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 โดยทำการเก็บรักษาส้มสายน้ำผึ้งเป็นระยะเวลา 63 วัน วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) การเปลี่ยนแปลงสีผิวของส้มสายน้ำผึ้ง และการประเมินทางประสาทสัมผัสทุกๆ 7 วัน ของการเก็บรักษา พบว่าส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บในสภาพควบคุมบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ น้อยกว่าส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติอย่างชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าในสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของส้มสายน้ำผึ้ง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าการเก็บรักษาที่ระดับบรรยากาศอื่นๆ

จรรยา (2536) กล่าวว่าเนื่องจากมีการบริโภคอาหารสดนอกฤดูกาลมากขึ้น โดยเฉพาะมะเขือเทศซึ่งจัดว่าเป็นผักประเภทหนึ่งซึ่งนิยมรับประทานเป็นอาหารลดความอ้วนโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา ดังนั้นการที่จะมีมะเขือเทศสดนอกฤดูกาลรับประทานจึงเป็นที่ต้องการมาก ส่งผลให้มีการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศโดยใช้การควบคุมบรรยากาศความชื้นสัมพัทธ์สูงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ โดยการควบคุมบรรยากาศภายในห้องเก็บรักษาที่มีสัดส่วนของแก๊สออกซิเจน 25 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5.0 เปอร์เซ็นต์ และ แก๊สไนโตรเจน 92.5 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ 98 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สามารถยืดอายุมะเขือเทศได้นาน 8 สัปดาห์ ในขณะที่มะเขือเทศที่เก็บรักษาในสภาพตามปกติมีอายุประมาณ 25 วัน เท่านั้น (ความชื้นสัมพัทธ์ 85%) ซึ่งตรวจสอบคุณภาพทางด้านการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solid) ความแน่นเนื้อ สี ความเป็นกรด และการเน่าเสียของมะเขือเทศ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2531) พบว่าเห็ดฟางเป็นผลิตผลสดที่มีอัตราการหายใจสูงที่สุด และเป็นผลิตผลที่เน่าเสียง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตผลสดชนิดอื่นๆ โดยเห็ดฟางที่

เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจสูงถึง 250 มล. CO_2/กก./ชั่วโมง และเมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงถึง 15 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจก็จะลดลงมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้นคือ 200 มล.CO_2/กก./ชั่วโมง แต่ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะมีผลกระทบจากความเย็นทำให้ดอกเห็ดเสียหายได้ โดยการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่าเห็ดฟางมีอายุการเก็บรักษาได้ไม่เกิน 2 วัน ถึงแม้จะใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อช่วยในการเก็บรักษาก็ไม่สามารถทำให้คุณภาพของเห็ดดีขึ้น นอกจากนี้การปรับสภาพบรรยากาศภายในถุงพอลิเอทิลีนก็ไม่ช่วยทำให้เห็ดฟางเก็บได้นานขึ้น เพราะเห็ดผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ภายในถุงมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป โดยการทดลองนี้ได้ทดลองเก็บเห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม และเห็ดหอมด้วยซึ่งได้ผลใกล้เคียงกัน

นันทิพา และคณะ (2546) รายงานว่าการศึกษาผลของ Superatmospheric oxygen ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของหน่อไม้ฝรั่ง โดยการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นร้อยละ 21 (control) 50 70 และ 90 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากการทดลอง พบว่าแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นสูง (50 70 และ 90) สามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของหน่อไม้ฝรั่งได้ โดยมีผลในการลดอัตราการผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจของหน่อไม้ฝรั่ง ส่วนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหน่อไม้ฝรั่ง พบว่าการเก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นร้อยละ 50 มีผลในการลดการสูญเสียน้ำหนักและความเหนียว (แรงเฉือน) ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นอื่นๆ และสามารถเก็บรักษาได้นาน 33 วัน ส่วนการเก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 20 70 และ 90 มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 12 30 และ 30วัน ตามลำดับ

เบญจมาส และคณะ (2547) พบว่าการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สออกซิเจน 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (control) ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่ามะม่วงทุกกรรมวิธีสามารถเก็บรักษาได้นาน 3 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษานานไว้ขึ้นจะพบปัญหาโรคผลเน่า และมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศจะมีการพัฒนาสีผิวและสีเนื้อช้ากว่า control เมื่อผลสุกจะมีปริมาณ soluble solids และวิตามินซีไม่แตกต่างจาก control แต่จะมีปริมาณกรดสูงกว่า นอกจากนี้ยังมีรสชาติเปรี้ยวกว่า control

อภิตา และคณะ (2545) กล่าวว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกอายุเก็บเกี่ยว 111 วันหลังดอกบาน จากสวนทิวทองอำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในสภาพบรรยากาศปกติและบรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 3 และ 4 สัปดาห์ มีการสุกหลังจากวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-4 และ 2-3 วัน ตามลำดับ การเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาพบรรยากาศปกติและ

ออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 3 สัปดาห์ ขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10 หรือ 15 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลไม่แตกต่างกัน โดยสามารถเก็บรักษาได้นาน 4 สัปดาห์ โดยเปลือกผลเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นเหลืองน้อยกว่าผลที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติและสภาพที่มีแก๊สออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากวางผลมะม่วงไว้ให้สุกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-3 หรือ 4 วัน ผลมีการสุกตามปกติและไม่พบความแตกต่างของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี ยกเว้นผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ โดยในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาพบอาการเปลือกผลไหม้สีเขียวเทาเข้ม มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติเกิดขึ้น

ผัก ผลไม้ และดอกไม้สด มีความสำคัญทางเศรษฐกิจต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก เพราะนอกจากใช้บริโภคภายในประเทศแล้ว ยังมีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศอีกด้วย โดยมีตลาดที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น สิงคโปร์ ฮ่องกง รวมทั้งประเทศแถบยุโรป และสหรัฐอเมริกา แต่ปัญหาที่สำคัญของผัก ผลไม้ และดอกไม้สดภายหลังการเก็บเกี่ยว คือ มีอายุการเก็บรักษาและอายุการวางจำหน่ายสั้น เกิดการเน่าเสียได้ง่าย ซึ่งปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดความสูญเสียทั้งในด้านคุณภาพและด้านปริมาณ เกิดผลเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างมาก

2.1.1 การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว

การสูญเสียของผลิตผลสดพืชสวนทั้งในแง่คุณภาพและปริมาณ สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกขั้นตอนตั้งแต่ขณะเก็บเกี่ยวจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค การสูญเสียของผลิตผลในประเทศที่พัฒนาแล้วมีประมาณ 5-25 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ประเทศที่กำลังพัฒนามีการสูญเสียประมาณ 20-50 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล การลดการสูญเสียจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยทางชีววิทยาและสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดความเสียหาย และมีการนำเอาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมาช่วยชะลอการเสื่อมสลาย และรักษาคุณภาพให้คงสภาพเดิมให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้

ผัก ผลไม้ และไม้ดอกไม้ประดับ หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วจะยังคงมีชีวิตอยู่ ซึ่งจะยังคงมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นเช่นเดียวกับขณะอยู่บนต้น โดยที่การเน่าเสียของผลิตผลจะเป็นระยะ

สุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจวบจนมีการแตกของเซลล์ และตายลงในที่สุด เนื่องจากผลิตผลสดพืชสวนชนิดต่างๆ จะมีองค์ประกอบทางสัญฐานวิทยา ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล และอื่นๆ ส่วนประกอบทางเคมีและทางสรีรวิทยาแตกต่างกัน ดังนั้นการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลแต่ละชนิดจึงต้องการวิธีการปฏิบัติที่แตกต่างกันออกไป ผลิตผลสดจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จึงมักเกิดความเสียหายเนื่องมาจากการเหี่ยว เพราะว่ามีการสูญเสียน้ำ และความเสียหายทางกลต่างๆ ตลอดจนมีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อราได้ง่ายอีกด้วย (วรินธร, 2551)

2.1.2 ปัจจัยทางสรีรวิทยาที่มีผลต่อการสูญเสีย

การหายใจ

การหายใจ เป็นกระบวนการเมแทบอลิสม์ที่มีการนำเอาสารอาหารที่ผลิตผลสะสมไว้ในรูปของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน มาแตกตัวเป็นสารที่มีโครงสร้างอย่างง่าย และให้พลังงานออกมาด้วย ซึ่งพลังงานที่ได้นี้จะนำไปเพื่อให้ผลิตผลยังคงมีชีวิตอยู่ ในกระบวนการดังกล่าวนี้จะมีการใช้แก๊สออกซิเจนในกระบวนการและจะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา การสูญเสียสารอาหารที่ผลิตผลสะสมไว้ระหว่างกระบวนการหายใจทำให้เกิด

- การเสื่อมสลายเกิดได้เร็วขึ้น เนื่องจากสารอาหารที่สะสมไว้ถูกใช้ไปเรื่อยๆ เพื่อให้ยังคงมีชีวิต
- ลดคุณค่าอาหารที่ผู้บริโภคควรจะได้รับ
- คุณภาพด้านรสชาติเสียไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหวาน
- ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักแห้งที่ขายได้ (salable dry weight) มีความสำคัญสำหรับผลิตผลที่ต้องทำการอบแห้ง (dehydration)

สำหรับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาในรูปของความร้อนที่เรียกว่า Vial heat หรือ Respiration heat ยังมีความสำคัญต่อการพิจารณาในการใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ความต้องการในการลดอุณหภูมิและการระบายอากาศ เป็นต้น

อัตราการสูญเสียของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการหายใจ ดังนั้นอัตราการหายใจ สามารถบ่งบอกอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลได้ ซึ่งมีการจำแนกผลิตผลตามอัตราการหายใจ โดยอาศัยรูปแบบของการหายใจและการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน ออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทบ่มสุก (climacteric) และประเภทบ่มไม่สุก (non-climacteric) ผลิตผลประเภทบ่มสุก จะมีการเพิ่มขึ้นของการหายใจและการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนในช่วงกระบวนการสุก ในขณะที่ประเภทบ่มไม่สุกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการหายใจและการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน ซึ่งจะมีปริมาณต่ำกว่าในระหว่างกระบวนการสุก (ดนัย, 2540 ; Kader, 1986)

อัตราการหายใจของผลิตผลจะมีมากหรือน้อยเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณของสารตั้งต้น คือ คาร์โบไฮเดรต และแก๊สออกซิเจน ถ้ามีปริมาณมาก อัตราการหายใจจะสูง ปริมาณของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูงอัตราการหายใจจะต่ำ และอุณหภูมิ ซึ่ง Stanley (1991) ได้รายงานว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้อัตราการหายใจของผลิตผลเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก่อนถึงจุดที่จะทำให้ผลิตผลตายจะทำให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง อัตราการหายใจจะลดลงเนื่องจากการตายของผลิตผล

การสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน

เอทิลีน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เป็นสารที่อาจเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติจากกระบวนการเมแทบอลิสม์ของพืชชั้นสูง และเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด และเอทิลีนยังจัดเป็นฮอร์โมนที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนา และเสื่อมสลาย ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆของพืช แม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย (ต่ำกว่า 0.1 ppm) ก็ตาม และนอกจากนี้ยังมีผลต่อการเกิด Abscission layer ด้วย

โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน จะเพิ่มขึ้นเมื่อผลิตผลแก่มากขึ้น ผลิตผลที่เกิดความเสียหายทางกายภาพ และเกิดโรค ผลิตผลที่อยู่ในอุณหภูมิสูง และเกิดภาวะการขาดน้ำ ในทางตรงกันข้ามอัตราการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนจะลดลง เมื่ออยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ หรืออยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (ยงยุทธ, 2539)

การคายน้ำ

การสูญเสียน้ำ นับว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญมากอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดการสูญเสียเพราะนอกจากจะมีผลต่อการสูญเสียทางปริมาณ โดยตรง แล้วยังมีผลทำให้ลักษณะปรากฏภายนอกไม่ดีอีกด้วย เช่น อาการเหี่ยวของผลิตผล คุณภาพของเนื้อสัมผัสเสียไป การนิ่ม การแข็งของเนื้อ การสูญเสียความกรอบและความฉ่ำน้ำ เป็นต้น และยังทำให้คุณภาพทางคุณค่าอาหารลดลงด้วย (ดนัย และนิธิยา, 2546)

อาการผิดปกติทางสรีรวิทยา

อาการผิดปกติทางสรีรวิทยา สามารถเกิดขึ้นได้กับผลิตผลหลายๆ ชนิด เช่น แอปเปิ้ล สาลี่ ผลไม้เมล็ดแข็ง และส้มต่างๆ เป็นต้น สาเหตุของอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาส่วนมากเกิดจากการจัดการอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม การขาดธาตุอาหารบางอย่างในระหว่างการเจริญเติบโตและการพัฒนา หรือการจัดการสภาพ

ของบรรยากาศที่ไม่เหมาะสม การอ่อนแอของผลิตผลต่อความเสียหายทางสรีรวิทยาจะผันแปรตามชนิดพันธุ์ ความแก่ การปฏิบัติดูแลรักษาในแปลงปลูก สภาพแวดล้อมที่ได้รับขณะเจริญเติบโต ขนาดของผลิตผล การปฏิบัติและสภาพแวดล้อมหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (จริงแท้, 2549; ดนัย, 2540)

ความเสียหายจากเชื้อจุลินทรีย์

ความเสียหายที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของผลิตผลพืชสวน คือความเสียหายที่เกิดจากเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย การเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเข้าทำลายผลิตผลที่เกิดความเสียหายทางกายภาพและอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา มีเพียงเชื้อราบางชนิดเท่านั้น ที่สามารถเข้าทำลายผลิตผลที่สมบูรณ์ได้ โดยทั่วไปแล้วผลิตผลจะมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว แต่ในบางครั้งในช่วงการสุกและการเสื่อมสลายของผลิตผล ความต้านทานการเข้าทำลายจะลดลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางชีวเคมีเกิดขึ้นหลายอย่างและนอกจากนี้สภาวะเครียดต่างๆ เช่น ความเสียหายทางกล อาการสะท้านหนาว และอาการโดดแดดเผา จะทำให้การต้านทานต่อเชื้อจุลินทรีย์ลดลง (ดนัย, 2540)

2.1.3 การเก็บรักษา

การเก็บรักษาผลิตผลไว้มีวัตถุประสงค์ เพื่อที่จะรักษาคุณภาพของผลิตผลให้ยังคงสภาพเดิมเช่นเดียวกับที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเพื่อทำให้มีอายุหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วนานที่สุด เพราะผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่และมีการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทั้งภายในและภายนอก วิธีการเก็บรักษาที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดการสูญเสียได้ หรือในบางครั้งถ้าผลิตผลมีปริมาณมากเกินความต้องการของตลาด ราคาของผลิตผลในช่วงนั้นจะต่ำ การเก็บรักษาผลิตผลไว้ระยะหนึ่งจะช่วยทำให้ผลิตผลมีราคาไม่ต่ำมากนัก หรืออาจจะขายได้ราคาสูงขึ้น

ในการเก็บรักษาผลิตผลให้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวยาวนานนั้น ผลิตผลที่จะนำมาเก็บรักษาจะต้องมีคุณภาพดีด้วย เพราะถ้าผลิตผลที่นำมาเก็บรักษามีคุณภาพต่ำ หรือเกิดความเสียหาย นอกจากจะทำให้มีการสูญเสียเกิดขึ้นได้เร็ว ซึ่งทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นแล้ว อาจจะจำหน่ายไม่ได้ หรือขายได้ในราคาต่ำไม่คุ้มทุนที่ต้องจ่ายไปในช่วงการเก็บรักษา ดังนั้นผลิตผลที่จะนำมาเก็บรักษาจะต้องมีคุณภาพดี ไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นมีความแก่ที่เหมาะสม ตลอดจนควรเป็นที่ต้องการของตลาดด้วย

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วผลิตผลจะยังคงมีชีวิตอยู่ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีเกิดขึ้นมากมาย รวมทั้งยังมีเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ และแมลงที่จะเข้าทำลายผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะทำให้ผลิตผลมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้นลง ดังนั้นในการเก็บ

รักษาจะต้องทำให้สิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เพื่อให้ผลิตผลไม่เกิดความเสียหายและมีคุณภาพคงเดิมนานที่สุดด้วย (ดนัย และนิธิยา, 2546 ; วรินธร, 2551 ; ยงยุทธ, 2539)

2.1.4 ความต้องการในการเก็บรักษา

จุดประสงค์ในการเก็บรักษาผลิตผล เพื่อต้องการให้ยังคงมีคุณภาพดี หรือให้มีการสูญเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งในรูปแบบต่างๆ ของการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลจะสามารถทำให้

1. ผลิตผลมีการสูญเสียน้ำลดลง ในการสูญเสียน้ำของผลิตผล นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวผลิตผลที่ได้กล่าวมาแล้ว อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพห้องเก็บรักษาก็มีส่วนสำคัญเช่นกัน โดยห้องเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะทำให้ผลิตผลมีการสูญเสียน้ำมากขึ้น

2. ผลิตผลมีการหายใจช้าลง ถ้าผลิตผลมีอัตราการหายใจช้าลงจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิสม์ต่างๆ ภายในเซลล์เกิดช้าลง ซึ่งในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ และบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำและ/หรือคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะมีผลทำให้อัตราการหายใจเกิดช้าลง ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในเรื่องการหายใจของผลิตผล

3. ทำให้การเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ช้าลงหรือหยุดชะงัก การเก็บรักษาผลิตผลไว้ในสภาพอุณหภูมิต่ำ จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดหยุดชะงักการเจริญเติบโต หรือมีการเจริญเติบโตช้าลงได้

4. ยับยั้งการเจริญเติบโตแบบต่อเนื่องของผลิตผลบางชนิด ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถช่วยป้องกันการงอกรากของหอมหัวใหญ่และหอมแดง หรือการงอกของมันฝรั่ง มันเทศ และกระเทียมในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการงอกทั้งรากและต้นของผลิตผลเหล่านี้จะมีผลทำให้คุณภาพของผลิตผลที่จะจำหน่ายลดลง (วรินธร, 2551 ; Thompson, 1992)

2.1.5 วิธีการเก็บรักษา

ก. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (cold storage)

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำคือ การเก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิต่ำจะช่วยทำให้กระบวนการเมแทบอลิสม์ต่างๆ ภายในเซลล์ของผลิตผล เช่น อัตราการหายใจ การสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีเกิดได้ช้าลง นอกจากนี้ยังทำให้การเจริญเติบโตและการแพร่ระบาดของเชื้อจุลินทรีย์เกิดได้ช้าลงด้วย ซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลและทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น แต่อุณหภูมิจะต้องไม่ต่ำมากเกินไป จนก่อให้เกิดความเสียหายกับผลิตผล โดยในสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุด

เยือกแข็ง จะส่งผลให้น้ำในเซลล์ของผลิตผลแข็งตัว ทำให้เกิดการแตกของเซลล์ ซึ่งส่งผลให้ผลิตผลเกิดความเสียหาย

ผลิตผลบางชนิดโดยเฉพาะผลิตผลเขตร้อน อาจเกิดความเสียหายได้เนื่องจากอาการสะท้านหนาว ซึ่งเป็นความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ แต่จะสูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลแต่ละชนิด สำหรับอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายนั้น จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลิตผลแต่ละชนิด ผลิตผลในเขตร้อนจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาสูงกว่าผลิตผลในเขตหนาว (จริงแท้, 2549 ; Sisir, 1997)

ข. การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere)

การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ เป็นการเก็บรักษาในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของแก๊สในบรรยากาศให้แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ ซึ่งประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจนประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สอื่นๆ อีกเล็กน้อย โดยการทำให้แก๊สออกซิเจนลดลงและเพิ่มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการหายใจของผลิตผลลดลง กระบวนการเมแทบอลิสม์ต่างๆ ภายในเซลล์เกิดช้าลง ช่วยลดการสังเคราะห์และการทำงานของแก๊สเอทิลีน รวมทั้งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้นานขึ้น ในการปฏิบัติทั่วๆ ไปแล้วการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศนิยมใช้ร่วมกับการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ

ข้อดีของการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ

- ช่วยชะลอการเสื่อมสลาย (การสุก) ของผลิตผลทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีเกิดช้าลง เช่น ลดอัตราการหายใจและการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน ลดการนิ่มของผล และการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีให้เกิดช้าลง

- ลดความไวในการตอบสนองต่อแก๊สเอทิลีนได้ ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ และ/หรือคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

- ช่วยยับยั้งการเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางอย่าง เช่น อาการสะท้านหนาวในผลิตผลหลายชนิด อาการก้านใบเป็นจุดสีน้ำตาลแดงของผักกาดหอม และอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางอย่างของแอปเปิลในระหว่างการเก็บรักษา

- มีผลทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ จะยับยั้งการพัฒนาของโรค Botrytis rot ที่เกิดกับ สตรอเบอรี่ เชอรี่ และผลไม้อื่นๆ ได้

- สามารถควบคุมแมลงที่เข้าทำลายผลิตผลบางชนิดได้

ข้อเสียของการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ

- ทำให้เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางอย่างได้ เช่น อาการไส้ดำของมันฝรั่ง อาการเส้นใบเป็นสีน้ำตาล (brown stain) ของผักกาดหอม และอาการไส้ดำของแอปเปิลและสาลี่

- ทำให้ผลไม้บางชนิดเกิดการสุกที่ผิดปกติ เช่น กล้วย สาลี่ และมะเขือเทศ ซึ่งมักจะเกิดได้ในสภาพที่มีระดับของออกซิเจนต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

- อ่อนแอต่อการเน่าเสียเพิ่มขึ้นในผลิตผลที่สามารถเกิดความเสียหาย เนื่องจากออกซิเจนต่ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากๆ

- กระตุ้นให้เกิดการงอก และชะลอการสร้างเนื้อเยื่อเพอริเดิร์มในผลิตผลประเภทหัวใต้ดิน เช่น มันฝรั่ง

ระบบในการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ อาจกระทำได้ทั้งแบบชั่วคราวอย่างง่ายๆ หรือทำเป็นห้องเก็บรักษาที่ถาวรเลยก็ได้

1. ระบบการทำการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศอย่างง่าย (simple CA)

ในการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ จะมีความต้องการในสิ่งต่างๆ เหล่านี้ คือห้องเย็นที่ปิดสนิท (gastight) เครื่องมือที่ใช้สำหรับกำหนดความเข้มข้นของแก๊ส และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและควบคุมส่วนประกอบของบรรยากาศ ระบบการปฏิบัติที่ง่ายที่สุดคือ การทำห้องควบคุมบรรยากาศในห้องเย็น โดยใช้พลาสติกหนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ทำเป็นห้องโดยใช้โครงไม้ลักษณะคล้ายเต้นท์ แผ่นพลาสติกจะถูกยึดติดกับพื้นห้องเย็น โดยกดแผ่นพลาสติกลงในรางแคบๆ (narrow trough) และทำให้มีแรงดัน (forcing tubing) ในรางเพื่อทำให้พลาสติกยึดติดกับพื้น อาจใช้แผ่นพลาสติกวางปูกับพื้นเพื่อเป็นฉนวนป้องกันแก๊ส (gas barrier) และใช้แผ่นไม้วางทับป้องกันอีกที และทำให้แผ่นพลาสติกที่ปูพื้นเชื่อมติดกับแผ่นพลาสติกที่ทำเป็นเต้นท์ ซึ่งจะทำให้ได้ห้องที่มีลักษณะปิดสนิท ภายในเต้นท์จะใช้พัดลมเป่าให้อากาศมีการหมุนเวียน ระดับของแก๊สออกซิเจนจะถูกทำให้ลดลงโดยกระบวนการหายใจของผลิตผล หรือการใช้ CA generators ส่วนปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกควบคุมโดยการใช้น้ำปูนใส (hydrated lime) วางไว้ในเต้นท์ เพื่อดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินไป

2. ระบบการทำการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศแบบถาวร (permanent CA)

การสร้างห้องเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศแบบถาวรจะออกแบบให้มีการควบคุมบรรยากาศเฉพาะกับชนิดของผลิตผล โดยทั่วไปการสร้างห้องเก็บรักษาดังกล่าวนี้ จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการสร้างห้องเย็นเก็บรักษาประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากต้องทำให้ห้องมีลักษณะที่ปิดสนิท และในบางกรณี

อาจทำให้เป็นห้องเล็กๆ อยู่ภายในห้องเย็นเก็บรักษานั่นเอง สิ่งที่ควรคำนึงในการสร้างห้องเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ คือ ประตูห้อง

ประตูของห้องควบคุมบรรยากาศสามารถออกแบบได้หลายลักษณะ โครงสร้างของประตูจะต้องมีความแข็งแรงและสามารถยึดติดได้สนิท ไม่มีการโค้งงอ และส่วนของโครงประตูอาจคลุมด้วย Plywood หรือโลหะด้วย หรืออาจจะมีการใช้แผ่นอะลูมิเนียมที่เชื่อมติดอยู่กับโครงอะลูมิเนียม ด้านล่างหลังการปิดประตูแล้ว อาจทำให้ปิดสนิทด้วยการใช้ Caulking compound ตามปกติประตูห้องมักจะกว้าง 2.4-3 เมตร และสูงเพียงพอที่รถยกสามารถยกลังผ่านได้ 2 ลัง และนอกจากนี้อาจมีประตูเล็กๆ (access door) ขนาด 60×75 เซนติเมตร เพื่อสามารถเข้าไปในห้องเพื่อตรวจสอบผลไม้ได้แทนที่จะต้องเปิดประตูใหญ่ หรืออาจมีหน้าต่าง (clear acrylic window) เพื่อใช้ตรวจสอบผลไม้โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปในห้องควบคุมบรรยากาศ ซึ่งโดยปกติหน้าต่างจะมีรูปร่างเป็นแบบเว้าเข้าไปข้างใน เพื่อสามารถมองเห็นภายในห้องควบคุมบรรยากาศได้อย่างทั่วถึงด้วย

การควบคุมสภาพบรรยากาศ

1. การควบคุมแก๊สออกซิเจน ระดับของแก๊สออกซิเจนสามารถควบคุมโดยการหมุนเวียนอากาศปกติจากห้องควบคุมบรรยากาศไหลผ่าน Generators แล้วกลับเข้าสู่ในห้องอีกครั้งหนึ่ง หรืออาจกระทำได้โดยนำอากาศบริสุทธิ์ (fresh air) ผ่านเข้าไปยัง Generators ซึ่งจะลดปริมาณออกซิเจนลง แล้วจึงผ่านเข้าสู่ห้องเก็บรักษา นอกจากนี้ในอดีตกระทำโดยใช้ Catalytic burners หรือ Converters เพื่อลดปริมาณออกซิเจนลง และการใช้ไนโตรเจน จากไนโตรเจนเหลว หรือจาก Separators ซึ่งจะทำให้มีการหมุนเวียนอากาศผ่าน Molecular sieve beds หรือ Membrane systems เพื่อที่จะแยกไนโตรเจน จากนั้นไนโตรเจนจะถูกผ่านเข้าไปในห้องเพื่อทำให้ออกซิเจนในห้องลดลง

2. การควบคุมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยทั่วไปจะใช้จากถังบรรจุแก๊สโดยตรง แต่สำหรับในการขนส่งบางครั้งอาจจะใช้น้ำแข็งแห้ง (dry ice) เป็นแหล่งให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกัน การลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินในบรรยากาศที่เก็บรักษากระทำโดยการใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำ น้ำปูนใน Activated charcoal หรือ Molecular sieve แต่ตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่นิยมมากคือ น้ำเกลือ (brine water) ซึ่งถูกปั๊มลงบน Evaporator coil เพื่อดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้กล่องบรรจุน้ำปูนใสวางไว้ในห้องควบคุมบรรยากาศ นั้นจะใช้ในอัตรา 12 กิโลกรัมต่อผลไม้หนัก 1000 กิโลกรัม การวางกล่องบรรจุน้ำปูนใส จะต้องให้มีอากาศหมุนเวียนผ่านกล่องด้วย เพื่อสามารถดูดจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี และเมื่อทำปฏิกิริยาจน

หมดแล้วก็ให้เปลี่ยนใหม่ใส่ลงไปแทน ซึ่งวิธีนี้อาจทำให้บรรยากาศในขณะนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้ นอกจากนี้ตัวดูดซับจำพวก Activated carbon scrubbers หลายๆ ชนิด ก็นิยมใช้กันด้วย

3. การเพิ่มแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ การเพิ่มแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ลงในบรรยากาศที่เก็บรักษาสามารถกระทำได้โดยใช้จากถังบรรจุแก๊สโดยตรง ซึ่งต้องผสมกับไนโตรเจนก่อนเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีความเข้มข้นเกิน 10 เปอร์เซ็นต์

การใช้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มเข้าไปในบรรยากาศที่ใช้เก็บรักษาผลิตผล เริ่มทำกันในปี พ.ศ. 2513 โดยมีการเพิ่มคาร์บอนมอนอกไซด์ 2-3 เปอร์เซ็นต์ ให้กับผักกาดหอมที่ขนส่งในสภาพดัดแปลงบรรยากาศเพื่อยับยั้งอาการเปลี่ยนสี (discoloration) อย่างไรก็ตามการใช้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มเข้าไปในบรรยากาศอาจมีทั้งผลดีและผลเสียเกิดขึ้นคือ

ผลดี

- คาร์บอนมอนอกไซด์ 1-5 เปอร์เซ็นต์ ที่เติมเข้าไปในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 2-5 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเปลี่ยนสีของผักกาดหอมในบริเวณรอยตัด และในส่วนเนื้อเยื่อที่เกิดความเสียหายทางกล ซึ่งจะให้ผลคล้ายๆ กับผัก และผลไม้บางชนิดที่ทำการแปรรูปพร้อมบริโภค การยับยั้งดังกล่าวนี้จะหมดไป เมื่อนำเอาผลิตผลออกจากสภาพดัดแปลงบรรยากาศวางไว้ในอากาศปกติขณะการวางจำหน่าย

- คาร์บอนมอนอกไซด์ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ที่เติมเข้าไปในสภาพดัดแปลงบรรยากาศสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อสาเหตุของโรคหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญหลายชนิดและช่วยป้องกันการเน่าเสียของผักและผลไม้หลายชนิด ผลของคาร์บอนมอนอกไซด์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราจะได้ผลดี เมื่อบรรยากาศนั้นๆ มีออกซิเจนต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

- แม้ว่าคาร์บอนมอนอกไซด์เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถใช้รมเพื่อป้องกันแมลงที่เข้าทำลายผักกาดหอมหลังเก็บเกี่ยวได้ แต่มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ร่วมกับการควบคุมสภาพบรรยากาศในการควบคุมแมลงที่ควรจะมีการศึกษาต่อไป

ผลเสีย

- คาร์บอนมอนอกไซด์อาจทำให้เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลิตผลรุนแรงยิ่งขึ้น เช่นในสภาพที่มีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการขนส่งผักกาดหอม ถ้ามีคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้อาการเส้นใบเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมที่เกิดจากการชักนำของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีอาการรุนแรงมากยิ่งขึ้น

- คาร์บอนมอนอกไซด์จะมีผลคล้ายๆ กับเอทิลีนในการกระตุ้นให้ผลไม้สุก และชักนำให้เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา อย่างไรก็ตามการใช้คาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาพของบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำ

และคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะทำให้ผลเหล่านี้ลดลง ยกเว้นในกรณีของผลไม้ที่ไวต่อการตอบสนองต่อแก๊สเอทิลีน เช่น กีวีฟรุ๊ต เป็นต้น

- คาร์บอนมอนอกไซด์มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ และติดไฟได้ที่ความเข้มข้นระหว่าง 12.5-74.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นถ้ามีการใช้จะต้องเข้มงวดและระมัดระวังด้วย

4. การกำจัดแก๊สเอทิลีน การระบายอากาศในห้องเย็นเก็บรักษาทุกๆ 1 ชั่วโมง จะช่วยลดปริมาณของแก๊สเอทิลีนลงได้ แต่จะไม่สามารถนำมาใช้กับการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศได้ นอกจากนี้การใช้แก๊สโอโซนในการออกซิไดซ์เอทิลีน จะต้องการระดับของออกซิเจนที่สูงกว่าระดับที่ใช้ในห้องควบคุมบรรยากาศ ซึ่งการกำจัดแก๊สเอทิลีนในห้องควบคุมบรรยากาศจะนิยมใช้สารดูดซับเอทิลีน เช่น ด่างทับทิมอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ Activated หรือ Brominate charcoal โดยทำให้มีการหมุนเวียนของอากาศผ่านสารเหล่านี้ และเมื่อทำปฏิกิริยาจนหมดแล้ว จะต้องเปลี่ยนใหม่แทน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้ Catalytic burners สำหรับกำจัดเอทิลีนอีกด้วย (ยงยุทธ, 2539 ; Thompson, 1998 ; Wills *et.al.*, 1981)

ค. การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Modified atmosphere)

การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ คล้ายกับการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ คือ การเก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนลดลงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เพียงแต่การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศไม่สามารถควบคุมปริมาณของแก๊สให้คงที่อยู่ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ และกระบวนการเมแทบอลิสม์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ชนิด ความแก่ และสภาพของผลิตผลขณะนั้น

ตามปกติสภาพที่มีออกซิเจนลดลง จะมีผลให้อัตราการหายใจ การสังเคราะห์เอทิลีนและกระบวนการออกซิเดชั่นต่างๆ ลดลง ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลิตผลนานขึ้น โดยสภาพดังกล่าวอาจกระทำได้โดยการบรรจุผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ชนิดนั้นว่าจะยอมให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สได้มากหรือน้อย บรรจุภัณฑ์เป็นพลาสติกจะทำให้สภาพบรรยากาศมีออกซิเจนลดลง และคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่าบรรจุภัณฑ์ที่เป็นเข่ง ซึ่งมีการระบายอากาศดีกว่า บรรยากาศภายในเข่งจึงไม่ค่อยจะเปลี่ยนแปลงหรือมีความแตกต่างจากสภาพแวดล้อมภายนอกเท่ากับบรรยากาศภายในถุงพลาสติก ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ จึงเป็นการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศวิธีหนึ่งเช่นกัน

ในการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ จะต้องคำนึงถึงชนิด พันธุ์ และความแก่ของผลิตผล เพราะผลิตผลต่างชนิดกันจะมีอัตราการหายใจต่างกัน หรือแม้แต่ชนิดเดียวกัน แต่พันธุ์หรือความแก่ต่างกัน อัตราการหายใจของผลิตผลก็อาจแตกต่างกัน ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวมาแล้วในเรื่องการหายใจ นอกจากนี้

อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะเก็บรักษา จำนวนของผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษา ถ้ามีจำนวนมาก การใช้ออกซิเจนในการหายใจก็จะมาก คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจก็จะมีมากตามไปด้วย และคุณสมบัติในการยอมให้แก๊สซึมผ่านก็มีผลต่อปริมาณของแก๊สที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ด้วยเช่นกัน

ข้อดีของการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ

- ช่วยชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น
- ช่วยลดความไวในการตอบสนองต่อเอทิลีน เพราะคาร์บอนไดออกไซด์มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับเอทิลีน ทำให้สามารถแย่งจับกับ Active site ของเอทิลีนได้
- ช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และช่วยยับยั้งการเข้าทำลายผลิตผล ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีการหายใจแบบใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตช้าลง และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงมากๆ สามารถช่วยยับยั้งการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้
- ช่วยลดการเจริญเติบโตของแมลงที่ติดมากับผลิตผล
- ช่วยลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางอย่างที่เกิดขึ้นกับผลิตผลบางชนิดได้ เช่น อาการสะท้านหนาว และอาการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น
- ช่วยลดกลิ่นเหม็นหืนในผลิตผลประเภทที่มีไขมันมาก เช่น มะม่วงหิมพานต์ และถั่วลิสง

ข้อเสียของการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ

- ทำให้กลิ่นและรสชาติของผลิตผลผิดปกติไป
- ทำให้ผลไม้เกิดกระบวนการสุกผิดปกติไป
- อาจเกิดความเสียหายในกรณีที่ออกซิเจนต่ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากเกินไป เนื่องจากการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศนั้น ไม่สามารถควบคุมปริมาณของแก๊สให้คงที่เหมือนกับการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ ผลิตผลแต่ละชนิดจะมีความสามารถทนทานต่อสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงแตกต่างกันไป (วรินธร, 2552 ; Thompson, 1992 ; Wills *et.al.*, 1981 ;)

ง. การเก็บรักษาโดยวิธีลดความดัน (Hypobaric or Low-pressure system)

การลดความดันของบรรยากาศทั้งหมดลง โดยวิธีการดูดอากาศออก จะมีผลทำให้ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดลดลงด้วย เช่น ทำให้ความดันของแก๊สออกซิเจนลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศลดลง ซึ่งจะทำให้อัตราการหายใจของผลิตผลช้าลง รวมทั้งลดอัตราการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนให้เกิดได้น้อยลง นอกจากนี้ในสภาพความดันต่ำยังช่วยเร่งให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์เร็วขึ้น ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนออกจากเซลล์ผลิตผลได้เร็ว ระยะเวลาในการสัมผัสกับผลิตผลจึงน้อยลง ทำให้ผลิตผลเสื่อมสลายช้าลง

การเก็บรักษาโดยวิธีลดความดัน มีข้อดีกว่าการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศและดัดแปลงบรรยากาศคือ สามารถควบคุมปริมาณของออกซิเจนได้ดีกว่า และสามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนออกได้ แต่อย่างไรก็ตาม การลดความดันลงจะทำให้ความดันย่อยของไอน้ำลดลง กล่าวคือทำให้การระเหยของน้ำเกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการเก็บรักษาวิธีนี้จำเป็นต้องทำให้บรรยากาศที่เก็บรักษามีความชื้นสูง ซึ่งอาจทำโดยการฉีดพ่นละอองน้ำเข้าไป หรือปั๊มอากาศผ่านน้ำอุ่นก่อนที่จะให้เข้าสู่ระบบ และนอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่ไม่ค่อยนิยมทำในระดับการค้า และมีข้อจำกัดเมื่อต้องเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ที่จำเป็นสำหรับผลิตผลบางชนิด โดยเฉพาะในการขนส่งกระทำได้ยากมาก เพราะมีความยุ่งยากในการปฏิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสร้างห้องที่ต้องการความแข็งแรงมาก อาจทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการดัดแปลงบรรยากาศที่สามารถทำได้ง่ายกว่าในระหว่างการขนส่ง (ยงยุทธ, 2539)

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบและสร้างระบบการเก็บรักษาแบบควบคุมสภาพบรรยากาศ

1. การออกแบบระบบควบคุมสภาพบรรยากาศในครั้งนี้ได้นำเอาระบบของการควบคุมบรรยากาศที่ใช้สำหรับการเก็บผักและผลไม้ซึ่งใช้แก๊สไนโตรเจน และ/หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดระดับความเข้มข้นของออกซิเจน และ/หรือเพิ่มระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยระบบดังกล่าวแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งควบคุมการปิด-เปิดวาล์วไฟฟ้า ให้จ่ายแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากถังพักให้แก่ตู้เก็บรักษา

1.2 ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและประมวลผลการทำงานของส่วนที่ 1 ให้ทำงานตามคำสั่งข้อมูลของการปรับสภาพบรรยากาศ และยังทำหน้าที่แจ้งเตือนอีกด้วยเมื่อระดับของแก๊สบางชนิดในตู้เก็บรักษาสูงเกินไป

1.3 แหล่งของแก๊สที่ใช้ปรับสภาพบรรยากาศได้จากแหล่งต่อไปนี้

- ใช้แก๊สออกซิเจนจากอากาศปกติ ซึ่งมีระดับความเข้มข้นประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์
- ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากถังบรรจุ ซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์
- ใช้แก๊สไนโตรเจนจากถังบรรจุซึ่งมีความบริสุทธิ์ ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์

2. สร้างตู้ที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตผล ตู้ควบคุมบรรยากาศนี้ได้ออกแบบขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในห้องเย็นแบบตู้แช่ ซึ่งใช้ควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษา ตัวตู้ทำจากแผ่นพลาสติกอะคริลิกที่มีความหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร นำมาตัดเป็นแผ่นนำมาประกอบยึดติดด้วยกาว epoxy แล้วอุดรอยประกบระหว่างแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการรั่วซึมของก๊าซ ด้วยกาวซิลิโคน และเทปพลาสติก ตัวตู้มีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร จำนวน 10 ตู้ ด้านหน้าของตู้สามารถเปิดออกได้เพื่อใช้นำผลิตผลเข้าออกจากตู้ ซึ่งปิดได้ด้วยการขันน็อตให้ยึดติดกับตัวตู้ และใช้แถบยางรองรอบฝาปิดเพื่อป้องกันการรั่วซึมของแก๊ส ด้านหลังของตู้เจาะช่องใส่ข้อต่อที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 4 ช่อง เพื่อใช้เป็นช่องเติมแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 1 ช่อง ช่องเติมแก๊สไนโตรเจนเพื่อลดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 ช่อง และช่องสำหรับถ่ายเทแก๊สออกจากตู้ 1 ช่อง โดยนำตัวตู้ที่ประกอบเสร็จไปตั้งไว้ในห้องเย็นเพื่อรอการเก็บรักษาผลิตผลต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบหาระดับความเข้มข้นของปริมาณแก๊สในบรรยากาศที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา และศึกษาคุณภาพของผลิตผลที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศ

นำผลิตผลในกลุ่มของผัก ผลไม้ และดอกไม้ โดยคัดเลือดชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยการทดสอบครั้งนี้เลือกใช้ บร็อกโคลี มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และดอกกุหลาบพันธุ์ Dallas ที่ผ่านการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว นำมาบรรจุลงในตู้ควบคุมบรรยากาศที่ติดตั้งในห้องเย็น ปรับอุณหภูมิตามชนิดของผลิตผล จำนวนครั้งละ 5 ตู้ แต่ละตู้จะปรับสภาพบรรยากาศให้ได้สัดส่วนของแก๊สตามที่ต้องการ ดังนี้

1. บร็อกโคลี ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแก๊สออกซิเจน 0-5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95-98 เปอร์เซ็นต์ (Thompson, 1998)

2. มะม่วง พันธุ์น้ำดอกไม้ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแก๊สออกซิเจน 3-5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอุณหภูมิ 13-15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95-98 เปอร์เซ็นต์ (Sisir, 1997)

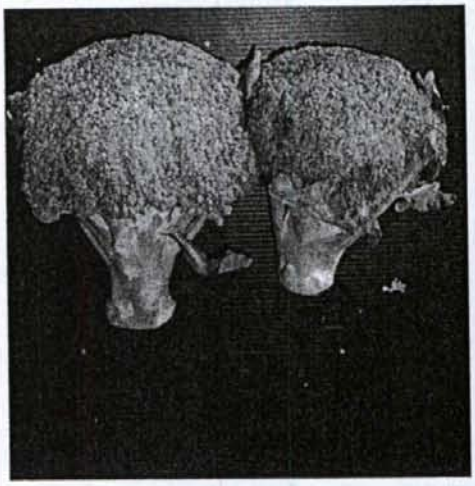
3. ดอกกุหลาบสีแดง พันธุ์ Dallas ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแก๊สออกซิเจน 1-5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95-98 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยา และคนัย, 2537)

จากนั้นเดินเครื่องควบคุมสภาพบรรยากาศตามที่ได้ตั้งค่าไว้ และจะสุ่มนำผลิตผลออกมาตรวจสอบอายุการเก็บรักษา และคุณภาพทุกๆ 10 วัน โดยตรวจสอบคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพและ

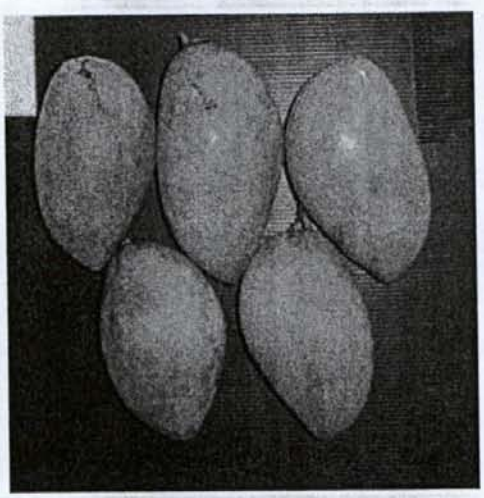
คุณภาพทางเคมี ได้แก่ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสด ความแน่นเนื้อ สีผิว สีเนื้อ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และความสด (คะแนน)

2.2.1 วิธีการเตรียมวัสดุทดลอง

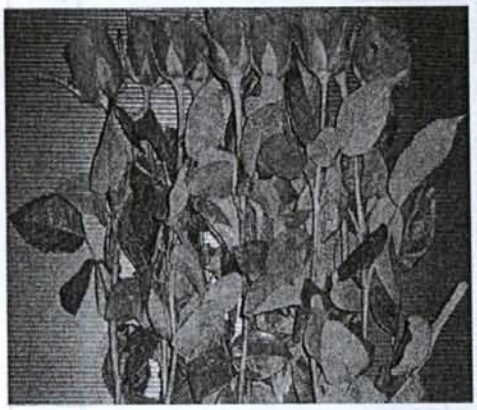
ขนส่งผลิตผลเกษตรมาจากตลาดไท ซึ่งเป็นผลิตผลที่ถูกส่งมาถึงตั้งแต่ช่วงเช้ามืด โดยขนส่งด้วยรถยนต์ใช้ระยะเวลาประมาณ 30 นาที เมื่อผลิตผลถูกขนส่งมาถึงห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี แล้วนำคัดเลือกเอาผลิตผลที่มีคุณภาพดีและขนาดสม่ำเสมอกัน หลังจากนั้นนำมาทำความสะอาด นำสิ่งสกปรกที่ติดมากับผลิตผลออก พร้อมกับตัดแต่งเบื้องต้น คัดเลือกผลิตผลที่เสียหายทิ้ง



ก



ข



ค

ภาพที่ 2.1 ลักษณะผลิตผลเกษตรก่อนทำการเก็บรักษา (ก) บร๊อกโคลี (ข) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และ (ค) ดอกกุหลาบสีแดง พันธุ์ Dallas

2.2.2 วิธีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตผล

1. อายุการเก็บรักษา

บันทึกอายุการเก็บรักษา โดยนับตั้งแต่วันที่เริ่มต้นทำการทดลอง จนถึงวันที่ผลิตผลเสื่อมสภาพ โดยกำหนดให้ผลิตผลหมดอายุการเก็บรักษาเมื่อมีความเหี่ยวมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

2. การสูญเสียน้ำหนักสด

บันทึกน้ำหนักสดของผลิตผลตั้งแต่เริ่มเก็บรักษา จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา โดยสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดได้จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตผลเริ่มต้น - น้ำหนักผลิตผลที่ชั่งได้}}{\text{น้ำหนักผลิตผลเริ่มต้น}} \times 100$$

3. สีผิว และสีเนื้อของผลิตผล

การวัดสีของผลิตผล โดยใช้เครื่องวัดสี Chromameter (ยี่ห้อ MINOLTA รุ่น CR-10) โดยสุ่มตัวอย่างผลิตผลกรรมวิธีละ 5 ซ้ำๆละ1 ผล บันทึกค่าในระบบ C.I.E.LAB ซึ่งประกอบด้วยค่า brightness (L*), chroma และ hue angle

- brightness (L*) หมายถึง ความสว่างหรือความมืดของสี ความสว่างนี้สามารถวัดได้ในแนวตั้งจาก 0 ถึง 100 เมื่อค่าเข้าใกล้ 0 คือสีดำ และเมื่อค่าเพิ่มขึ้นสีดำจะลดลงไป ขณะที่ความสว่างมากขึ้นจนเป็นสีขาว คือมีค่าเท่ากับ 100
- chroma หมายถึง ความบริสุทธิ์ของสี
- hue angle (h°) หมายถึง สีพื้นฐานของวัตถุ

ภาพที่ 2.2 เครื่องวัดสี (Chromameter) ยี่ห้อ MINOLTA รุ่น CR-10

4. ความแน่นเนื้อของผลิตผล

วัดความแน่นเนื้อของผลิตผลโดยใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ Firmness tester (ยี่ห้อ NOW รุ่น FHR-5) ที่มีค่าแรงกดสูงสุดเท่ากับ 5 กิโลกรัม หัวเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร โดยสุ่มตัวอย่างผลิตผลกรรมวิธีละ 5 ซ้ำๆละ 1 ผล นำค่าที่ได้ไปคำนวณจากสูตรคำนวณความแน่นเนื้อ

$$\text{ความแน่นเนื้อ} = \frac{F(kg)}{\pi r^2 (cm^2)}$$

โดยที่ F คือ แรงกดที่อ่านค่าได้จากเครื่อง (kg)

r คือ รัศมีของหัวเจาะทรงกระบอก (cm)

ภาพที่ 2.3 เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Firmness tester) ยี่ห้อ NOW รุ่น FHR-5

5. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS)

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลิตผลโดยใช้เครื่อง Hand Refractometer (ยี่ห้อ MAHCO รุ่น FG-103) ที่มีค่าระหว่าง 0-32 เปอร์เซ็นต์ โดยวัดจากน้ำคั้นของผลิตผล

ภาพที่ 2.4 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand Refractometer) ยี่ห้อ MAHCO รุ่น FG-103

6. ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผลิตผล

โดยใช้ผลิตผลหนัก 1 กรัม บดในโกร่งบด ขณะบดเติมอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ ลงไปเล็กน้อย เมื่อบดละเอียด นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman NO. 1 และปรับปริมาตรด้วยอะซิโตนให้ได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกตวง นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสง (OD) ด้วยเครื่อง spectrophotometer (ยี่ห้อ Thermo รุ่น Helios Beta) ที่ค่าการดูดกลืนแสง 645 และ 663 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปคำนวณตามสูตร มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (Whitham *et.al.*, 1971)

$$\text{Chlorophyll a} = [12.7(OD663)-2.69(OD645)] \times \frac{V}{1{,}000 \times W}$$

$$\text{Chlorophyll b} = [22.9(OD645)-4.68(OD663)] \times \frac{V}{1{,}000 \times W}$$

$$\text{Total Chlorophyll} = [20.2(OD645)+8.02(OD663)] \times \frac{V}{1{,}000 \times W}$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์

W คือ น้ำหนักของผลิตผลที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่อง spectrophotometer ตามความยาวคลื่นที่กำหนด

7. การหาปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินของกลีบดอกกุหลาบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้ (Rangana, 1977)

กลีบดอกกุหลาบที่หั่นให้ละเอียด น้ำหนัก 0.5 กรัม

↓

เติม ethanolic HCl ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

↓

กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman NO. 1
แล้วปรับปริมาตรด้วย ethanolic HCl ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

↓

วัดค่าดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร
โดยใช้สารละลาย ethanolic HCI เป็น blank

↓

นำค่า OD ที่ได้ไปใช้คำนวณในสูตรหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด
มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด

สูตรคำนวณ คือ

$$\text{Total Absorbance} = \frac{OD\ 535 \times V \times 100}{W}$$

$$\text{Total anthocyanin content} = \frac{\text{Total Absorbance}}{98.2}$$

โดยที่ V คือ ปริมาณของสารละลายที่นำมาหาปริมาณแอนโทไซยานิน

W คือ น้ำหนักของกลีบดอกกุหลาบที่นำมาหาปริมาณแอนโทไซยานิน

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่อง spectrophotometer ตามความยาวคลื่นที่กำหนด

8. ความสดของผลิตผล

บันทึกความสดของผลิตผล โดยมีผู้ประเมิน 10 คน โดยกำหนดให้แต่ละระดับคะแนนหมายถึง

0 = ผลิตผลอยู่ในสภาพดีมาก (0–25%)

1 = ผลิตผลเหี่ยวเล็กน้อย (26 – 50%)

3 = ผลิตผลเหี่ยวปานกลาง (51 – 75%)

5 = ผลิตผลเหี่ยวมาก (76 – 100%)

2.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบรูณ์ ประกอบด้วย 2 วิธีการ คือ ผลิตผลที่เก็บในสภาพควบคุมบรรยากาศ และผลิตผลที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% (T-test) และวิเคราะห์ในรูปแบบของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองโดยโปรแกรม Excel