บทที่ 2
ทบทวนเอกสาร

2.1 แหล่งผลิตลิ้นจี่ของประเทศไทย

ลิ้นจี่เป็นผลไม้เขตกึ่งร้อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Litchi chinensis* Sonn. อยู่ในวงศ์ Sapindaceae มีแหล่งกำเนิดทางตอนใต้ของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน สำหรับประเทศไทยได้นำเข้ามาปลูกกันมานานแต่แหล่งที่มีการปลูกลิ้นจี่กันมากมี 2 แห่งที่สำคัญ คือ ภาคกลางที่จังหวัดสมุทรสงคราม และภาคเหนือที่จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย (Subhadrabandhu, 1990) ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของสภาพภูมิอากาศและการตอบสนองของพันธุ์ในการออกดอก

2.2 พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์

2.2.1 พันธุ์

Subhadrabandhu (1990) แบ่งกลุ่มของลิ้นจี่ในประเทศไทยตามลักษณะการตอบสนองต่ออุณหภูมิเป็น 2 กลุ่มพันธุ์ คือ

1.) กลุ่มพันธุ์ที่ไม่ต้องการช่วงอุณหภูมิต่ำหรือต้องการเพียงเล็กน้อยเพื่อการออกดอก ลิ้นจี่กลุ่มนี้สามารถปลูกได้ดีในเขตภาคกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จังหวัดสมุทรสงคราม พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ พันธุ์ค่อม กระโหลกใบยาว กระโถนท้องพระโรง สำเภาแก้ว และเขียวหวาน เป็นต้น

2.) กลุ่มพันธุ์ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำช่วงเวลาหนึ่งเพื่อการออกดอก ลิ้นจี่กลุ่มนี้มีการปลูกกันมากในเขตภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ พันธุ์ฮงฮวย โอเฮียะ กิมเจง จักรพรรดิ์ และกวางเจา เป็นต้น

2.2.2 ลักษณะประจำพันธุ์

มนตรีและคณะ (2516) และธวัชชัยและคณะ (2522) รายงานลักษณะประจำพันธุ์ของลิ้นจี่ที่ปลูกกันมากทางภาคเหนือของประเทศโดยพิจารณาจากลักษณะของผลได้ข้อสรุปดังนี้

1.) ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย รูปทรงผลกลมยาว หนามใหญ่ห่าง ปลายหนามแหลมแข็ง เปลือกบาง เปลือกด้านนอกสีแดงอมชมพูและมีสีเขียวประปราย เปลือกด้านในสีชมพูถึงชมพูเข้ม เนื้อสีขาวขุ่น รสหวานอมเปรี้ยว ผลแก่ตั้งแต่ต้นเดือนถึงกลางเดือนพฤษภาคม จำนวนผล 40-50 ผลต่อกิโลกรัม

2.) ผลลิ้นจี่พันธุ์กวางเจา รูปทรงผลเป็นรูปหัวใจ เปลือกผลสีแดงเข้มหรือแดงอมชมพู หนามห่าง ปลายหนามแหลมแข็ง เปลือกบาง รสหวาน ผลแก่ตั้งแต่ต้นเดือนถึงกลางเดือนพฤษภาคมจำนวนผล 40- 50 ผลต่อกิโลกรัม

3.) ผลลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิ์ มีขนาดผลใหญ่ รูปร่างคล้ายรูปหัวใจแต่ไหล่ผลกลมอ้วน ปลายผลค่อนข้างกลม เปลือกมีสีแดงเข้ม หนามผลห่าง เป็นปุ่มนูนไม่แหลม เนื้อนิ่มและมีน้ำมาก เมล็ดโต รสไม่หวานจัด จำนวนผล 30 – 40 ผลต่อกิโลกรัม

4.) ผลลิ้นจี่พันธุ์กิมเจง ผลรูปหัวใจ เปลือกผลมีสีแดงอมชมพู รอบ ๆ ฐานของหนามมีสีเขียวปนเหลือง เปลือกด้านในสีขาวปนเขียวอ่อน หนามใหญ่ห่าง ปลายทู่ เมล็ดมักจะลีบ เนื้อมีสีขาวขุ่นนิ่มแต่ไม่เละ รสชาติหวานหอม จำนวนผล 50- 60 ผลต่อกิโลกรัม

2.3 การพัฒนาของผลและดัชนีการเก็บเกี่ยว

2.3.1 การพัฒนาของผลลิ้นจี่

ผลลิ้นจี่มีการเจริญเติบโตแบบ simple sigmoid curve การสร้างเมล็ดเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นก่อน จะเจริญไปพร้อมกับส่วนเปลือก (pericarp) และจะหยุดการเจริญเมื่อผลเติบโตไปได้ระยะหนึ่ง ประมาณ 3 เดือน โดยส่วนเปลือกจะยังคงมีการเจริญต่อเนื่องไปจนกระทั่งเก็บเกี่ยวและการขยายตัวของผลในระยะหลังเป็นการเพิ่มปริมาตรของส่วนเนื้อ (aril) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนเปลือกผลเจริญมาจากผนังรังไข่ (ovary wall) ทั้งหมด ผิวเปลือกผลมีลักษณะเป็นปุ่มยื่นออกมา (protuberances) อาจพบในลักษณะแหลมหรือนูนจนกระทั่งเรียบแบน สีผิวขณะผลอ่อนเป็นสีเขียว เมื่อผลใกล้แก่เริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดง ขณะที่ผลแก่อาจเปลี่ยนเป็นสีแดงสด แดงคล้ำจนกระทั่งสีแดงอมน้ำตาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของลิ้นจี่ รูปทรงผลพบตั้งแต่ ทรงกลม ทรงรูปไข่ ทรงรูปหัวใจ หรือแม้กระทั่งรูปไต ขนาดผลผันแปรตามพันธุ์ ส่วนเนื้อผลเจริญมาจากเนื้อเยื่อรอบ ๆ ส่วนก้านของเมล็ด (funiculus) ขึ้นมาโอบล้อมรอบส่วนเมล็ดจนมิด เมล็ดมีเปลือกมันสีน้ำตาลดำ ผลที่มีเมล็ดลีบ (abortive seed) เช่น พันธุ์ Groff และพันธุ์กิมเจง เป็นต้น (Huang and Xu , 1983 ; Paull *et al.*, 1984 และวิจิตร, 2526.) นอกจากการเปลี่ยนแปลงข้างต้นแล้วอัญชุลี (2539) รายงานว่าผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ์ และกิมเจง มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เปลี่ยนไปเช่น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะความแก่ ในขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (TA) มีแนวโน้มที่จะลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุที่เปลือกผลโดยปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงและแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อผลแก่

2.3.2 ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่

การเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ควรเก็บเกี่ยวในระยะที่แก่จัดพอดี เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ สายชล (2528) กล่าวถึงดัชนีการเก็บเกี่ยวของลิ้นจี่ว่า ผลที่แก่ สีผิวของผลจะมีสีแดงเพิ่มมากขึ้น ร่องระหว่างหนามจะแยก ความแหลมของหนามจะลดลง ใช้มือลูบผิวของผลจะทราบถึงความแตกต่างระหว่างผลอ่อนและผลแก่

Batten (1989) ศึกษาดัชนีความแก่ของลิ้นจี่ 5 พันธุ์ จากแหล่งปลูกต่าง ๆ 5 แห่ง และอายุผลต่างกัน พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS) ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นดัชนีความแก่ ขณะที่ปริมาณกรดและอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด เป็นดัชนีความแก่ที่ดี

อรรณพ และคณะ (2530) ศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยที่มีความแก่ต่างกัน โดยใช้ปริมาณสีแดงบนผิวเปลือกเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับการประเมินด้วยการชิมรส เมื่อหาค่าสหสัมพันธ์พบว่าค่าคุณภาพจากการประเมินมีความสัมพันธ์สูงสุดกับอัตราส่วนปริมาณน้ำตาลต่อกรด รองลงมาคือ สีผิว ปริมาณกรด และปริมาณน้ำตาล สอดคล้องกับรายงานของ Underhill (1990) ที่ศึกษามาตรฐานความแก่ของลิ้นจี่พันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศออสเตรเลีย และได้เสนอว่าควรใช้อัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด เป็นดัชนีเก็บเกี่ยวของลิ้นจี่ เนื่องจากมีความสัมพันธ์สูงอย่างสม่ำเสมอกับคุณภาพการชิมรสในลิ้นจี่แทบทุกพันธุ์ในทุกแหล่งผลิตและทุกฤดูกาลโดยอัตราส่วนปริมาณน้ำตาลต่อกรดที่แนะนำให้ใช้เป็นดัชนีเก็บเกี่ยวมีค่าเท่ากับ 35

สุภมนตรี (2531) ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย พบว่าผลลิ้นจี่พันธุ์นี้มีแบบแผนการเติบโตเป็นแบบ single sigmoid curve ผิวเปลือกของผลเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นสีแดงเมื่ออายุได้ประมาณ 8 สัปดาห์หลังติดผล และใช้เวลาอีก 4 สัปดาห์จึงเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งผล ปริมาณน้ำตาลและวิตามินซีจะเพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 11 ในขณะที่ปริมาณกรดลดลงอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดมีความสัมพันธ์กับเวลาสูงมาก จึงเสนอว่าควรใช้ค่าเหล่านี้เป็นดัชนีความแก่หรือดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ การเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยเมื่ออายุประมาณ 11 สัปดาห์หลังติดผล จะทำให้ได้ผลลิ้นจี่มีคุณภาพดีที่สุด โดยมีปริมาณน้ำตาล ปริมาณวิตามินซีสูงสุด และมีปริมาณกรดต่ำ

2.4 การเก็บรักษาผลลิ้นจี่สด

การเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดให้ได้นานนั้นมีประโยชน์ในแง่ของการตลาด คือสามารถช่วยควบคุมราคาของลิ้นจี่ในตลาดไม่ให้ขึ้นหรือลงมากเกินไป อย่างไรก็ดีต้องมีการเก็บรักษาที่ถูกวิธี กล่าวคือ จะต้องสามารถลดอัตราการหายใจและชะลอแอคติวิตีทางชีวภาพของผลิตผลที่เกิดขึ้น ลด

อัตราการสูญเสียน้ำจากผลิตผลลงให้เหลือต่ำที่สุด ควบคุมหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ และสามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ผลิตผลมีคุณภาพต่ำลง (Thompson , 1985 และ อรรณพ , 2532) การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดคือ การเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของผลลิ้นจี่ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำของเปลือกผลลิ้นจี่ (Scott *et al.*, 1982) ปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) (Lin *et al.*, 1988) รวมทั้งการเจริญของเชื้อรา (Nip , 1988) เป็นต้น

Underhill (1990) กล่าวถึงการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่หลังการเก็บเกี่ยวว่ามีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำของเปลือกผล ทำให้เกิด cell plasmolysis โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเซลล์ในชั้น mesocarp ของเปลือกเป็นผลให้เซลล์เมมเบรนเสียคุณสมบัติและเกิดการรั่วไหลของเอนไซม์ PPO และ POD ทำให้เอนไซม์ทั้งสองไปกระตุ้นปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแอนโทไซยานินในสภาพที่มีออกซิเจนจนเกิดเป็นสีน้ำตาลขึ้น

Underhill and Critchley (1993b) รายงานว่า ความเข้มข้นของปริมาณแอนโทไซยานินในผลลิ้นจี่พันธุ์ Bengal จะลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์โดยจะสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำ แต่มีความสัมพันธ์กับการปรากฏสีน้ำตาลที่ผิวน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวผลลิ้นจี่เกิดจาก non-polyphenol oxidase mediated anthocyanin decoloration ส่วน polyphenol oxidase นั้นจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ มากกว่าแอนโทไซยานิน

Holcroft and Mitcham (1996) ได้กล่าวถึงแนวทางในการปฏิบัติเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลรักษาสีแดงของเปลือก และยืดอายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สด เช่น จุ่มผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดซิตริก วิตามินซี เลซิทิน (lecithin) การเคลือบด้วยสารเคลือบผิว หรือพลาสติกพวกเรซิน (vinyl resin plastic) การใช้สารประกอบซัลไฟต์ การห่อผลด้วยถุงพลาสติก และการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการเน่าเสียของผล

การเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งร่วมกับการใช้สารประกอบซัลไฟต์เพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์และรักษาสีผิวนั้น แม้จะมีประสิทธิภาพดีก็ตามแต่ก็ไม่สามารถเก็บรักษาได้นานหลายเดือน และปัจจุบันตลาดต่างประเทศหันมาสนใจความปลอดภัยของผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น ได้มีการออกกฎหมายควบคุมการนำเข้าผลิตผลสดจากประเทศต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของแมลง เชื้อจุลินทรีย์และสารเคมีตกค้างต่าง ๆ จึงทำให้ผลิตผลสดส่งออกของไทยต้องถูกระงับการนำเข้าหลายชนิด (นิรนาม, 2539)

2.5 การแช่แข็งผลไม้

การเก็บรักษาผลไม้โดยการแช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วเรื่อยมา ทั้งนี้จากการพัฒนากรรมวิธีและเครื่องมือในการแช่แข็งตลอดจนภาชนะบรรจุ ทำให้การแช่แข็งสามารถรักษาคุณภาพของผลไม้ โดยเฉพาะในด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสได้ดีกว่ากรรมวิธีการแปรรูปโดยวิธีอื่น ๆ รวมทั้งยังคงมีลักษณะใกล้เคียงผลไม้สดมากและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน การแช่แข็งสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เสื่อมเสีย ลดการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่พึงประสงค์ได้ จากผลการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงร่วมกับการลดปริมาณน้ำในอาหารลงโดยเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มีน้อยลง ปัจจุบันนี้ผลไม้หลายชนิดจากประเทศไทยได้ทำการผลิตในลักษณะการแช่แข็งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ แต่ยังมีปริมาณไม่สูงมากนัก เช่น มังคุดแช่แข็ง ทุเรียนแช่แข็ง และสับปะรดแช่แข็ง เป็นต้น (ดารา, 2531)

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้แช่แข็ง

คุณภาพของผลไม้แช่แข็งจะดีหรือไม่และจะมีอายุการเก็บรักษาที่นานหรือสั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ (สงวนศรี, 2536)

2.5.1.1 พันธุ์ สภาพการเจริญเติบโตและการเก็บเกี่ยว การที่จะผลิตผลไม้แช่แข็งที่มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของตลาดนั้นจะต้องเริ่มจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีทั้งนี้เพราะไม่มีขั้นตอนใดในกระบวนการแช่แข็งที่สามารถทำให้คุณภาพของผลไม้ดีขึ้นกว่าเดิมได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีโดยจะต้องเริ่มต้นตั้งแต่การคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมในการแช่แข็ง พันธุ์ที่ดีควรจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง ควรเลือกระยะเวลาหรือฤดูกาลในการปลูกที่เหมาะสมและควรมีการปรับสภาพดินตลอดจนการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงอย่างถูกต้อง นอกจากนี้จะต้องมีความระมัดระวังในการเก็บเกี่ยวไม่ให้ผลไม้ได้รับความชอกช้ำหรือเกิดการล่าช้าในระหว่างการขนส่งจากแหล่งปลูกไปยังโรงงาน และเมื่อขนส่งมาถึงโรงงานแล้วจะต้องทำการลดอุณหภูมิของวัตถุดิบลงทันทีเพื่อลดอัตราการหายใจและอัตราการเสื่อมเสียต่าง ๆ ของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วอายุเก็บเกี่ยวผลไม้นั้นนิยมเก็บเกี่ยวก่อนสุกเต็มที่ เพื่อจะได้ผลที่มีเนื้อแน่น ดังการทดลองของ Plocharski (1989) ได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของผลสตรอเบอร์รีแช่แข็งระหว่างกลุ่มที่แช่แข็งทันทีภายใน 2 ชั่วโมงหลังเก็บเกี่ยวกับกลุ่มที่แช่แข็งหลังเก็บเกี่ยว 5-6 ชั่วโมง พบว่าหลังเก็บรักษาไว้นาน 3 เดือนผลสตรอเบอร์รีทั้ง 2 กลุ่มมี คุณภาพในด้านประสาทสัมผัสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มที่มีการล่าช้าหลังเก็บเกี่ยวจะมีลักษณะเนื้อสัมผัส สี และกลิ่นรสลดลงมากกว่ากลุ่มที่ทำการแช่แข็งทันทีภายใน 2 ชั่วโมงหลังเก็บเกี่ยว Cono *et al.* (1990) พบว่าระยะความสุกของกล้วยที่เหมาะสมสำหรับการแช่แข็ง

โดยใช้อุณหภูมิ –24 องศาเซลเซียส คือระยะที่สีผิวมีสีเขียว 70 % และสีเหลือง 30 % (14 วันหลังเก็บเกี่ยว) มีความแน่นเนื้อ 1.24 กิโลกรัม (หัวกด 0.794 ซม.) และมีอัตราส่วนระหว่างปริมาณเนื้อต่อเปลือกเป็น 1.30

2.5.1.2 อัตราส่วนของปริมาณน้ำต่อของแข็งในเนื้อเยื่อ ถ้าเนื้อเยื่อของผลไม้มีปริมาณน้ำน้อยหรือมีปริมาณของแข็งโดยเฉพาะของแข็งที่ละลายได้สูงจะทำให้ปริมาณน้ำส่วนที่จะไม่เปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งมีมาก ดังนั้นเมื่อนำไปทำการแช่แข็งจะเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นในเนื้อเยื่อผลไม้น้อยโอกาสที่เนื้อเยื่อจะถูกทำลายโดยผลึกน้ำแข็งจะลดลง ทำให้การนิ่ม ยุ่ย เละ ของเนื้อเยื่อหลังการละลายลดลง

2.5.1.3 อัตราการแช่แข็ง อัตราการแช่แข็งอย่างช้าและปานกลางจะทำให้มีน้ำแข็งเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ น้ำภายในเซลล์มีการเคลื่อนที่ออกมาภายนอกทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งมีผลทำให้เซลล์เหี่ยวและไม่สามารถคงความแต่งได้หลังจากการละลาย ส่วนการแช่แข็งอย่างเร็วนั้นน้ำแข็งจะเกิดกระจายทั่วไปและมีขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์ออกมามีน้อยทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ไม่เปลี่ยนตำแหน่งไปมาก ทำให้ผลไม้ที่แช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูงมีเนื้อสัมผัสหลังละลายที่ดีกว่า

2.5.1.4 ขั้นตอนก่อนทำการแช่แข็งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดในระหว่างการเก็บรักษาและการละลาย ถ้าเลือกวิธีที่เหมาะสมและได้ดูแลปฏิบัติให้ถูกต้องจะทำให้ผลไม้แช่แข็งที่ผลิตมีคุณภาพดี

2.5.2 วิธีการแช่แข็งผลไม้

การแช่แข็งผลไม้เริ่มต้นจากการคัดเลือกวัตถุดิบโดยคัดคุณภาพวัตถุดิบที่ได้รับเพื่อให้ได้ผลิตผลที่ได้มาตรฐาน ควรเลือกชนิดผลไม้ที่มีสีเข้ม มีความมันเงา กลิ่นหอม มีความแข็งแรงพอควร รสชาติเด่น มีขนาดสม่ำเสมอและมีความแก่พอเหมาะ แล้วทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษดินและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ติดมากับผลไม้ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปริมาณของจุลินทรีย์บางส่วนไปด้วย ดังนั้นน้ำที่ใช้ล้างผลไม้อาจมีการเติมสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ลงไปด้วย เช่น คลอรีน หลังจากนั้นจึงเป็นการตัดแยกชิ้นส่วนที่ไม่ต้องการ ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นตามขนาดที่กำหนดไว้

การแช่แข็งผลไม้คือการนำผลไม้มาแช่เย็นจนกระทั่งแข็งที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ โดยปกตินิยมทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า –10 องศาเซลเซียสเพื่อให้น้ำในผลไม้กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง โดยทั่วไปเนื้อเยื่อของผลไม้จะประกอบไปด้วยน้ำในปริมาณมากและมีสารต่าง ๆ ละลายอยู่ มีน้ำตาลและกรดสูง จะมีจุดเยือกแข็งประมาณ –2 ถึง –3 องศาเซลเซียส เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผลไม้ให้ต่ำกว่า 0

องศาเซลเซียสน้ำในผลไม้จะเริ่มเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง การแช่แข็งมีผลต่อคุณภาพของผลไม้โดยเฉพาะทางด้านเนื้อสัมผัส เพราะเนื้อเยื่อผลไม้ประกอบด้วยเซลล์ที่มีทั้งเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ที่มีความแข็งแรงและไม่ยืดหยุ่นและยังมีแวคคิวโอล (vacuole) ซึ่งมีของเหลว (cell sap) อยู่ภายในเป็นปริมาณมาก ระหว่างการแช่แข็งจะเกิดผลึกน้ำแข็งปริมาณมากและอาจทำให้ผนังเซลล์ที่ไม่ยืดหยุ่นเกิดการฉีกขาดหรือทำให้เซลล์มีรูปร่างเปลี่ยนไปจึงมีผลให้ผลไม้แช่แข็งหลังการละลายมีเนื้อที่นิ่ม ยุ่ย โดยพบว่าอัตราเร็วของการแช่แข็งมีผลต่อปริมาณและขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อผลไม้และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย (สงวนศรี, 2536) รูปแบบของการแช่แข็งแบ่งตามอัตราเร็วของการแช่แข็งได้เป็น 2 แบบ (กุลยา, 2533) คือ

2.5.2.1 การแช่แข็งแบบช้า (slow freezing) เป็นวิธีการแช่แข็งที่ใช้เวลานานในการทำให้ผลไม้เกิดการแข็งตัวที่อุณหภูมิประมาณจุดเยือกแข็งอย่างช้า ๆ โดยใช้เวลาประมาณ 3-72 ชั่วโมง อุณหภูมิในการแช่แข็งประมาณ –10 ถึง –15 องศาเซลเซียส การแช่แข็งแบบช้านี้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อผลไม้จะมีขนาดใหญ่จะดันผนังเซลล์ผลไม้ทำให้เกิดการบอบช้ำและฉีกขาด ซึ่งจะทำให้ผลไม้มีคุณภาพด้อยลง หลังจากที่ผลึกน้ำแข็งละลายแล้วเนื้อผลไม้จะเละชุ่มน้ำและของเหลวภายในเซลล์จะไหลออก แต่มีข้อดีคือสามารถทำได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย เหมาะสำหรับการแช่แข็งผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปแล้วหรือผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูป ตัวอย่างวิธีการแช่แข็งแบบนี้ ได้แก่ การแช่แข็งในห้องแช่แข็ง เป็นต้น

2.5.2.2 การแช่แข็งแบบเร็ว (quick freezing) เป็นวิธีการนำผลไม้มาผ่านอุณหภูมิในช่วงที่สามารถทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในปริมาณมากโดยใช้ระยะเวลาสั้น ซึ่งเวลาไม่ควรเกิน 30 นาที การแช่แข็งโดยวิธีนี้ผลึกน้ำแข็งในผลไม้จะมีขนาดเล็กละเอียด จึงไม่ทำให้เซลล์ผลไม้บอบช้ำเสียหายมาก เป็นวิธีที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม แต่การแช่แข็งแบบเร็วต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ตัวอย่างวิธีการแช่แข็งแบบนี้ ได้แก่ การแช่แข็งโดยใช้ลมเย็นพ่น (air blast freezing) การแช่แข็งโดยใช้เพลทสัมผัส (plate freezing) และการแช่แข็งโดยใช้สารไครโอเจนิก (cyrogenic freezing) เป็นต้น

การแช่แข็งที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรมแช่แข็งผักและผลไม้ได้แก่ การแช่แข็งแบบเร็วที่ใช้ลมเย็นพ่น ส่วนการแช่แข็งโดยใช้สารไครโอเจนิกจัดเป็นการแช่แข็งแบบรวดเร็วมาก (ultra rapid freezing) ทำได้โดยให้ผลิตผลสัมผัสกับสารให้ความเย็นขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะ (ไพบูลย์, 2532) สารให้ความเย็นที่ใช้ในการแช่แข็งแบบนี้ เช่น ไนโตรเจนเหลว ซึ่งมีคุณสมบัติที่ปราศจากสี กลิ่น และสารเคมี มีจุดเดือดที่ –195.8 องศาเซลเซียส มีข้อดีคือทำให้ผลิตผลไม่แห้งมากเกินไป มีประสิทธิภาพทำให้ผลิตผลแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว ลดการสูญเสียน้ำหนัก กำจัดก๊าซ

ออกซิเจนออกไประหว่างการแช่แข็งและรักษาคุณภาพของผลิตผลไว้ได้ดีซึ่งสมทรง (2530) เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งทุเรียนพันธุ์หมอนทองและชะนีแบบรวดเร็ว โดยนำเข้าเครื่องแช่แข็งแบบรายหน่วย (individual quick freezing; IQF) ที่ใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็น ตั้งอุณหภูมิของเครื่องไว้ที่ – 40 องศาเซลเซียสพบว่าจะใช้เวลา 30 นาทีสำหรับพันธุ์หมอนทองและ 40 นาทีสำหรับพันธุ์ชะนี สำหรับการแช่แข็งผลลำไยสดโดยบรรจุผลลำไยในถุงพลาสติก ผนึกปากถุงแล้วจัดเรียงลงในถังโฟมแล้วเทไนโตรเจนเหลวลงไปปิดฝาถังโฟมทิ้งไว้นาน 30 นาที นำออกมาเก็บรักษาในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ –5 ถึง 0 องศาเซลเซียส สามารถรักษาคุณภาพของผลลำไยสดได้นาน 41 วัน โดยพิจารณาจากลักษณะภายนอก ผลลำไยมีลักษณะทางด้านคุณภาพทุกประการเป็นที่ยอมรับของผู้ซื้อเท่ากับผลลำไยสด และจากงานทดลองของ Wolford and Brown (1965) พบว่า อัตราเร็วหรือวิธีการแช่แข็งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วแขกหลังการละลายน้ำแข็ง โดยการแช่แข็งแบบเร็วโดยใช้ไนโตรเจนเหลว liquid nitrogen freezing จะให้คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสดีที่สุด แต่การแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินสูง นอกจากนี้อาจทำให้เนื้อเยื่อเกิดการแตกได้ โดยเฉพาะผลไม้ที่มีปริมาณน้ำมาก (สมชาย, 2535)

2.5.3 การบรรจุ

ผลไม้แช่แข็งอาจมีการเสื่อมคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา เช่น การสูญเสียความชื้นและการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุผลไม้แช่แข็งควรมีคุณสมบัติที่เหมาะสม พลาสติกที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มากที่สุดคือ พลาสติกชนิดพีอี (polyethylene; PE) ทั้งในแง่ของปริมาณและขอบเขตการใช้งานโดยเฉพาะพลาสติกแอลดีพีอี (low density polyethylene; LDPE) เป็นพลาสติกที่ไม่มีกลิ่นรส มีความปลอดภัย ดูดซึมน้ำได้น้อยมาก ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำและใช้งานได้แม้มีอุณหภูมิต่ำถึง – 50 องศาเซลเซียส (Sacharow, 1976)

2.5.4 การเก็บรักษา

การรักษาคุณภาพของอาหารแช่แข็งได้ดีที่สุดอีกวิธีหนึ่งคือการเก็บรักษาที่ดี โดยทั่วไปควรเก็บผลไม้แช่แข็งที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า อุณหภูมิระดับนี้จะทำให้สามารถเก็บรักษาผลไม้แช่แข็งได้เป็นระยะเวลานาน ๆ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –21 ถึง –29 องศาเซลเซียสจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ควรรักษาอุณหภูมิของห้องเก็บให้สม่ำเสมอตลอดเวลา (พรพงษ์, 2537) Venning *et al.* (1989) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความคงตัวของเนื้อผลกีวี (kiwifruit) แช่เยือกแข็งพบว่าหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 54 สัปดาห์ผลไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี ในขณะที่การเก็บในอุณหภูมิ – 9 ถึง – 18 องศาเซลเซียสจะมีการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษา

2.5.5 ปัญหาที่พบในการแช่แข็งผลไม้

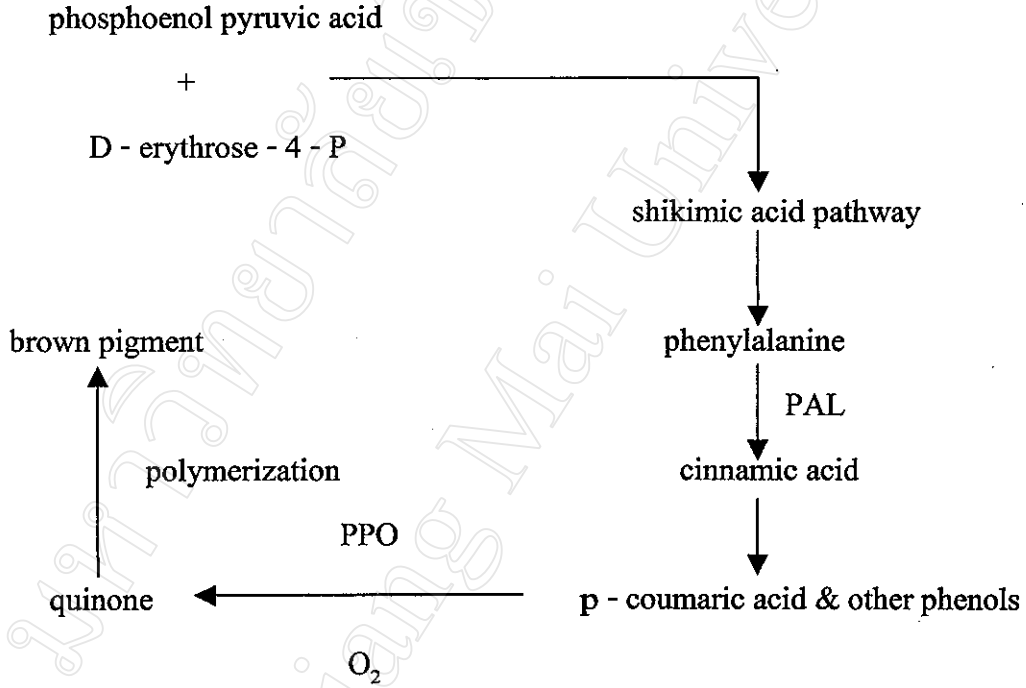
ปัญหาสำคัญสำหรับผลไม้แช่แข็งคือการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning) ซึ่งในเนื้อเยื่อผลไม้ส่วนใหญ่จะมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase , PPO) และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase , POD) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการซึ่งเอนไซม์นี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) โดยเฉพาะสารประกอบพวกโมโนฟีนอล (monophenolic) เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่น (hydroxylation) ได้สารที่เรียกว่า ออโธ - ไดฟีนอล (*o*-diphenol) หลังจากนั้นจะถูกออกซิไดซ์ ได้สารที่เรียกว่า ออโธ - ควิโนน (*o*-quinones) (Mayer and Horel , 1979) ซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยารวมตัวกันจนได้สารประกอบเมลานิน (melanin) ซึ่งมีสีน้ำตาลดล้ำมักจะเกิดในระหว่างการเก็บรักษาและการละลายน้ำแข็ง

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) (EC 1.11.1.7) จัดเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกลุ่มของเอนไซม์ oxidoreductase ปัจจุบันยอมรับกันว่า POD ที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชจะอยู่ในรูปของ isoenzyme (Robinson, 1991) ในระหว่างการสุกของผลไม้จะพบแอคติวิตีของ POD เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแอคติวิตีของเอนไซม์อื่น ๆ เช่น polygalacturonase และ cellulase ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสุกของผลไม้ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่า แอคติวิตีของ POD สามารถเป็นตัวบ่งบอกการสุกและการเสื่อมสภาพ (senescence) ของผลไม้ได้ เช่น ในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden Delicious (Gorin and Heidema , 1976) นอกจากนี้ยังพบว่า POD มีความสัมพันธ์กับรสชาติและกลิ่นที่ผิดปกติในผักผลไม้ที่ไม่ผ่านการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เนื่องจาก POD มีความทนทานต่อความร้อนได้มากที่สุดจึงใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ด้วยวิธีการลวกในน้ำร้อน (Reed , 1975)

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการ oxidation ซึ่งมีสารประกอบฟีนอลเป็นสับสเตรท (substrate) แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ laccases (p-diphenol : oxygen oxidoreductases ; EC 1.10.3.2) และ catechol oxidases (o-diphenol : oxygen oxidoreductases ; EC 1.10.3.1) ปัจจุบันทั้ง 2 กลุ่มจัดรวมกันอยู่ในกลุ่มที่มีชื่อสามัญว่า monophenol monooxygenase (EC 1.14.18.1) ซึ่ง catechol oxidase มักถูกเรียกว่า phenolase, polyphenol oxidase, tyrosinase, catecholase และ cresolase ตามสับสเตรทที่เข้าทำปฏิกิริยา (Mayer and Harel , 1979)

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญ อาจมีหมู่เคมีเข้ามาเกาะยังตำแหน่งต่าง ๆ เช่น cinnamic acid , caffeic acid , chlorogenic acid , gallic acid , anthocyanins และ tannin เป็นต้น มีขั้นตอนการสังเคราะห์โดยผ่าน

shikimic pathway เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุล phosphoenol pyruvate จาก glycolysis กับ erythrose-4-phosphate จาก Calvin cycle หรือ pentose phosphate pathway ซึ่งนำไปสู่การสังเคราะห์กรดอะมิโนที่สำคัญได้แก่ phenylalanine , tyrosin และ tryptophan โดยกรดอะมิโน phenylalanine จะเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลอื่น ๆ ซึ่งมีเอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนีย-ไลเอส (phenylalanine ammonia - lyase; PAL) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกโดยการดึงเอาหมู่อะมิโนออกจาก phenylalanine เพื่อสร้างเป็น cinnamic acid (จริงแท้ , 2538)



ภาพ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล และการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้ , 2538)

นอกจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นฟีนอลที่ให้สีสันกับผลไม้แล้วสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ ซึ่งปกติไม่มีสีก็อาจทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลเป็นสับสเตรทที่สำคัญของเอนไซม์ POD และ PPO

Cheng and Crisosto (1995) ทำการสกัดเอนไซม์จากผลท้อ และเนื้อเยื่อบริเวณผิวของผลเนคทารีน (nectarine) พบว่าสารประกอบฟีนอล มีความสัมพันธ์กับแอคติวิตีของ PPO และการเกิดสีน้ำตาลโดยปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณ glutathione แปรผันตามพันธุ์

นอกจากการเกิดสีน้ำตาลจะเป็นปัญหาสำคัญสำหรับผลไม้แช่แข็งแล้ว การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อผลไม้ก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้แช่แข็ง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ คือ อัตราเร็วของการแช่แข็ง อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บผลไม้แช่แข็ง โดยการแช่แข็งแบบช้าจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ ทำลายผนังเซลล์และส่วนของ middle lamella ทำให้ผลไม้หลังละลายน้ำแข็งนิ่มกว่าผลไม้สด เช่น ผลสตรอเบอร์รีที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียสและเก็บรักษาไว้ 1 วัน มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและความแน่นเนื้อต่ำกว่าผลสดและมีการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด โดยผลที่ผ่านการแช่แข็งแบบช้าที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียสจะมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าผลที่แช่แข็งแบบเร็วที่อุณหภูมิ – 40 องศาเซลเซียสหรือที่แช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว (Fennema, 1973)

2.5.6 วิธีชะลอหรือยับยั้งแอคติวิตีของเอนไซม์ในผลไม้

2.5.6.1 การลวก เนื่องจากเอนไซม์จะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนดังนั้นการลวกจึงสามารถทำลายเอนไซม์ได้ แต่วิธีนี้ไม่นิยมนำมาใช้กับผลไม้ที่จะนำมารับประทานในสภาพสด เช่น ลิ้นจี่ มังคุด เป็นต้น เพราะมีผลทำให้เนื้อเยื่อผลไม้มีลักษณะนิ่มลง วิธีนี้เหมาะสำหรับผลไม้ที่ต้องการนำไปแปรรูป เช่น ทำแยมและพาย (pie) เป็นต้น (สงวนศรี, 2536) การให้ความร้อนอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลาสั้น ๆ กับผลลิ้นจี่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ แต่จะทำให้ผลแตกและสีซีดลง (Nip, 1988) ส่วนการปฏิบัติที่ได้ผลดี เช่น การลวกผลกล้วยในน้ำเดือดนาน 11 นาทีก่อนการแช่แข็งสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลหลังการละลายน้ำแข็งได้เป็นอย่างดี (Cano *et al.*, 1990)

2.5.6.2 การแช่ในน้ำเชื่อมหรือน้ำตาลเป็นวิธีที่นิยมกันมาก โดยน้ำเชื่อมจะเป็นตัวป้องกันไม่ให้ก๊าซออกซิเจนแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล นอกจากนี้น้ำเชื่อมยังมีผลดีต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของผลไม้แช่แข็งเพราะน้ำตาลจะทำให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มขึ้น รักษาการเปลี่ยนแปลงของรสชาติและทำให้เนื้อสัมผัสแน่นขึ้น บางครั้งอาจมีการเติมกรดอินทรีย์ลงไปในน้ำเชื่อมหรือน้ำตาลด้วย เพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพการยับยั้งแอคติวิตีของเอนไซม์ (สงวนศรี, 2536) ส่วนการเติมน้ำตาลทรายลงในผลสตรอเบอร์รีก่อนแช่แข็งแบบ individual quick freezing แล้วเก็บรักษาที่ -15 องศาเซลเซียส นาน 3 ปี พบว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและ polymeric color ขณะละลายน้ำแข็งได้ (Wrolstad *et al.*,1990)

2.5.6.3 การใช้สารประกอบซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมหรือโพแทสเซียมไบซัลไฟต์และเมตาไบซัลไฟต์ เติมลงในผลไม้เพื่อยับยั้งหรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เป็นสารฟอกสีและเป็นวัตถุกันหืน เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะไปรีดิวซ์ออโธ – ควิโนนให้เป็นสารประกอบซัลโฟเนต (sulfonate) ทำให้ปฏิกิริยาการเกิด

สารประกอบเมลานินถูกขัดขวาง (Wong , 1989) อย่างไรก็ตามการใช้สารประกอบซัลไฟต์ไม่เป็นที่นิยมกันนักเพราะอาจก่อให้เกิดก๋ลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ นอกจากนี้การใช้ในปริมาณความเข้มข้นสูงอาจทำให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลงและอาจฟอกจางสีของแอนโทไซยานินได้ (สงวนศรี , 2536) ปัจจุบัน FDA (Food and Drug Administration) (1986) ได้มีการประกาศห้ามใช้ซัลไฟต์ในผักและผลไม้สดหลายชนิดและระบุว่าอาหารบรรจุภาชนะที่มีการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรืออนุพันธ์ในปริมาณตั้งแต่ 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ขึ้นไปต้องปิดฉลากบอกปริมาณซัลไฟต์ที่มีอยู่

4. การใช้กรดอินทรีย์ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นสารที่นำมาใช้แทนซัล-ไฟต์ได้ดีที่สุด มีฤทธิ์สูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ เนื่องจากไปช่วยลดการเกิดสารควิโนน นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นสูง ๆ ยังมีผลยับยั้งเอนไซม์ PPO โดยตรง (Vámos-Vigyázó , 1981) การใช้กรดแอสคอร์บิกอาจเติมในน้ำเชื่อม หรือจุ่มผลไม้ในสารละลายกรด แต่กรดแอสคอร์บิกมีราคาค่อนข้างสูงและมีความคงตัวต่ำ นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดชนิดอื่น เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดมาลิก (malic acid) และกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เป็นต้น โดยกรดเหล่านี้จะไปลดค่าพีเอช (pH) ให้ต่ำลงกว่าระดับที่เอนไซม์จะทำงานได้ตามปกติ (Langdon, 1987)

ในการป้องกันและยับยั้งแอคติวิตีของเอนไซม์ในผลไม้แช่แข็ง เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลนั้นอาจมีหลายวิธีร่วมกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นดังรายงานวิจัยของ Anonymous (1975) พบว่าการลวกผลลิ้นจี่ในน้ำร้อนแล้วจุ่มในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 5–10 เปอร์เซ็นต์กับโซเดียมคลอไรด์ 2 เปอร์เซ็นต์ก่อนการแช่แข็ง สามารถรักษาสีในระหว่างการแช่แข็ง การเก็บรักษาและหลังการละลายน้ำแข็งได้นาน 3 ชั่วโมง นอกจากวิธีนี้แล้ว Nip (1988) และศรีสุวรรณ (2534) ก็พบว่าการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก 10 เปอร์เซ็นต์ กรดแอสคอร์บิก 1 เปอร์เซ็นต์และน้ำตาลทราย 10 เปอร์เซ็นต์ก่อนการแช่แข็งนาน 30 นาทีและจุ่มในสารละลายอีกครั้งนาน 5 วินาทีหลังแช่แข็งทันที โดยแช่แข็งด้วยวิธี cryogenic freezing สามารถรักษาคุณภาพของผลลิ้นจี่ได้นาน 24 สัปดาห์ โดยการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลงแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้