

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

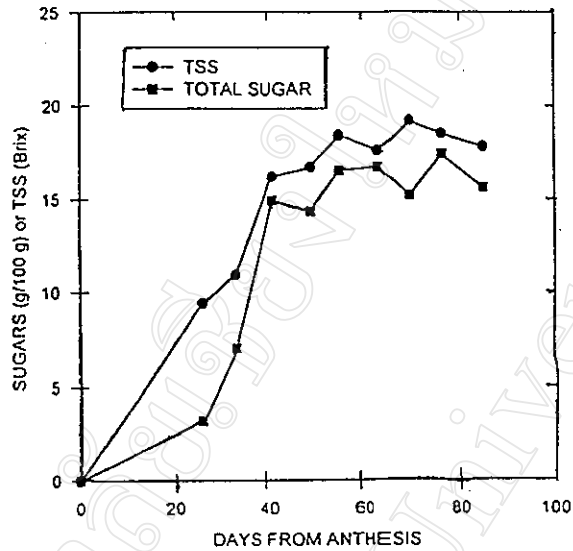
ลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn.) เป็นผลไม้เขตร้อน (sub-tropical fruit) จัดอยู่ในวงศ์ Sapindaceae ลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดมาจากทางตอนใต้ของประเทศจีน ซึ่งปัจจุบันลิ้นจี่ได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมเพาะปลูกกันมากในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศในเขตร้อน เนื่องจากลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีลักษณะเฉพาะตัว มีกลิ่นหอม และมีรสชาติพิเศษ คือ มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ลิ้นจี่จึงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค มีการส่งผลผลิตออกไปจำหน่ายยังตลาดโลกเป็นจำนวนมาก ประเทศที่ผลิตผลลิ้นจี่ออกจำหน่ายยังตลาดโลก ได้แก่ ประเทศไทย จีน ใต้หวัน เวียดนาม อินเดีย มาเลเซีย แอฟริกาใต้ ปากีสถาน อินโดนีเซีย และออสเตรเลีย (Kadam and Deshpande, 1995) สำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกลิ้นจี่มากในเขตภาคเหนือตอนบน โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ พะเยา และเชียงราย ซึ่งสามารถผลิตผลลิ้นจี่ได้มากถึง 90% ของผลผลิตทั้งประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2540)

พันธุ์ลิ้นจี่มีมากมายหลายสายพันธุ์แต่สายพันธุ์ลิ้นจี่ที่นิยมปลูกกันมากในภาคเหนือและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ ได้แก่ พันธุ์สงขลวย โอเฮียะ กิมเจง และจักรพรรดิ โดยเฉพาะลิ้นจี่พันธุ์สงขลวยเป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดทางภาคเหนือ เนื่องจากมีลักษณะเด่นเฉพาะตัวคือสามารถติดผลได้ดีเกือบทุกปี ดอกลิ้นจี่จะเริ่มบานประมาณเดือนกุมภาพันธ์ และผลจะเริ่มแก่ประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ผลลิ้นจี่มีรูปทรงกลมรี เปลือกมีสีแดงอมชมพู เมื่อผลแก่สมบูรณ์หนามจะเป็นคุ่มสั้นกว่าผลที่ยังไม่แก่ (จริงแท้, 2538) ดังนั้นจึงต้องเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ในระยะที่สามารถบริโภคได้ทันที เนื่องจากลิ้นจี่เป็นผลไม้ชนิด non-climacteric (Somogyi *et al.*, 1996) ภายหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วกระบวนการสุกจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นหากเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ในระยะที่ไม่เหมาะสม เช่น ผลลิ้นจี่ที่ยังไม่แก่เต็มที่จะทำให้ได้ผลลิ้นจี่ที่มีคุณภาพต่ำ เช่น มีรสเปรี้ยวมากเกินไป เนื่องจากผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนต่างกันจะมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้นั้นจะมีปริมาณกรดลดลงและมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ทำให้เมื่อเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ในระยะที่มีความแก่สมบูรณ์จะได้ผลลิ้นจี่ที่มีรสชาติดี คือมีรสหวานอมเปรี้ยวเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Holcroft and Mitcham, 1996)

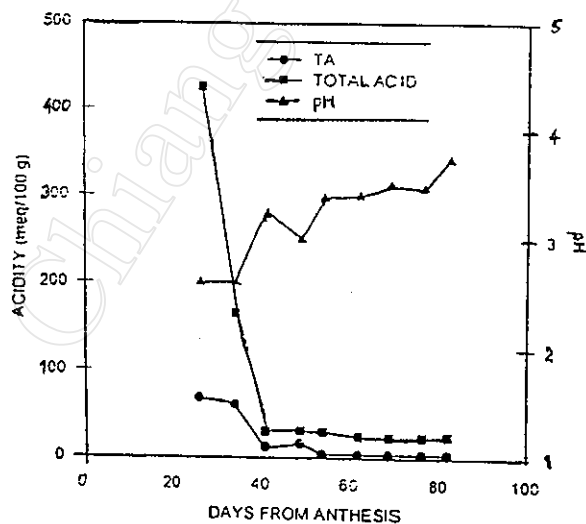
ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่

ผลลิ้นจี่มีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะความแก่-อ่อน สายพันธุ์ พื้นที่ปลูก และการดูแลในระหว่างการเพาะปลูก ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของผลลิ้นจี่ประกอบด้วย น้ำ 77-87% โปรตีน 0.8-0.9% ไขมันน้อยกว่า 1% ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ 14.0-20.3% ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 15.3% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ถึง 81.7% และ น้ำตาลซูโครส 18.3% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Kadam and Deshpande, 1995) ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดที่พบในผลลิ้นจี่มีประมาณ 0.52% โดยอยู่ในรูปของกรดมาลิกมากกว่า 80% ของปริมาณกรดทั้งหมด กรดที่เหลือประกอบด้วยกรดชนิดอื่นๆ คือ กรดซิตริก ซัคซินิก มาโลนิก แลคติก ฟอสฟอริก และลิลูลินิก นอกจากนี้ยังพบว่าผลลิ้นจี่เป็นแหล่งของกรดแอสคอร์บิกที่ดี มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงถึง 40-90 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Somogyi *et al.*, 1996) ผลลิ้นจี่เมื่อมีระยะความแก่เพิ่มมากขึ้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมี คือ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.1) ปริมาณกรดทั้งหมดลดลง และค่าพีเอช (pH) เพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.2) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีดังกล่าวสามารถชี้บ่งถึงระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ได้ ดังนั้นปัจจัยที่ใช้เป็นดัชนีในการพิจารณาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม อาจพิจารณาได้จากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด และอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรด (sugar : acid ratio) เป็นต้น (Holcroft and Mitcham, 1996)

ในช่วงระยะการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลลิ้นจี่ นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน คือการเปลี่ยนแปลงของสีผิวที่เปลือกนอกของผลลิ้นจี่ จะมีการพัฒนาจากสีเขียวเป็นสีแดงเพิ่มมากขึ้นตามระยะการสุก รงควัตถุที่ให้สีแดงในเปลือกของผลลิ้นจี่ คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งประกอบด้วยอนุพันธ์หลายชนิด คือ 3-กลัยโคไซด์ (3-glycoside) ไชยานิดิน (cyanidin) 3-กาแลคโตไซด์ (3-galactoside) พีลาร์โกนิน (pelargonidin) 3-รามโนไซด์ (3-rhamnoside) และ พีลาร์โกนิน 3,5 ไดกลัยโคไซด์ (pelargonidin 3,5 diglycoside) โดยพบว่าไชยานิดิน 3-รูทีโนไซด์ (cyanidin 3-rutinoside) เป็นอนุพันธ์หลักที่มีปริมาณมากกว่า 67% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินเป็นดัชนีที่สามารถชี้บ่งถึงระยะการสุกของผลลิ้นจี่ได้เป็นอย่างดี เพราะในระหว่างที่ผลลิ้นจี่สุกจะมีการสังเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินที่เปลือกเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 2.3) ซึ่งส่งผลให้เปลือกลิ้นจี่มีสีแดงเพิ่มมากขึ้น และปริมาณแอนโทไซยานินจะมีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อผลลิ้นจี่มีระยะการสุกเต็มที่ หลังจากนั้นปริมาณแอนโทไซยานินจะค่อยๆ ลดลงภายหลังการ



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดใน ผลลิ้นจี่ระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนา
ที่มา : Holcroft and Mitcham (1996)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไตเตรทได้ (TA) และค่าพีเอชในผลลิ้นจี่ระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนา
ที่มา : Holcroft and Mitcham (1996)

เก็บเกี่ยวและเมื่อผลลึ้นจี้เริ่มเน่าเสีย ภาวะดังกล่าวจึงเป็นตัวชี้บ่งที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสีผิวของเปลือกผลลึ้นจี้กับระยะเวลาสุกได้เป็นอย่างดี (Mazza and Miniati, 1993)

ผลลึ้นจี้มีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากผิวเปลือกเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมงภายหลังการเก็บเกี่ยวเมื่อเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง (Ray, 1998) การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณผิวเปลือกของผลลึ้นจี้ นับว่าเป็นปัญหาสำคัญในทางการค้า เพราะจะทำให้ราคาผลผลิตตกต่ำและไม่สามารถส่งออกไปจำหน่ายในระยะทางไกลๆ ได้ ซึ่งเชื่อกันว่าการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวเปลือกผลลึ้นจี้มีสาเหตุเนื่องมาจากการสลายตัว (degradation) ของแอนโทไซยานินในภาวะต่างๆ เช่น ภาวะภายหลังการเก็บเกี่ยว ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินบริเวณเปลือกผลลึ้นจี้จะลดลงอย่างช้าๆ การสลายตัวของแอนโทไซยานินมีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase ; PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (Zhang *et al.*, 2000)

Underhill (1992) รายงานว่า ภายหลังการเก็บเกี่ยว บริเวณเปลือกของผลลึ้นจี้ activity ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะค่อยๆลดลง แต่มีการสลายตัวของแอนโทไซยานินอย่างรวดเร็วและเกิดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น จึงไม่น่าเป็นไปได้ว่าการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลึ้นจี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเพียงอย่างเดียว น่าจะมีปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย เช่น การได้รับความเสียหายจากลักษณะทางกายภาพ เช่น การเก็บผลลึ้นจี้ใส่ไว้ในห้องเย็นโดยตรง (อุณหภูมิต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส) หรือการได้รับความร้อน (อุณหภูมิสูงกว่า 53 องศาเซลเซียส) ปัจจัยทางกายภาพเหล่านี้จะเร่งให้เกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลึ้นจี้ให้เร็วขึ้น เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวผลลึ้นจี้จะสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว การเก็บรักษาผลลึ้นจี้ไว้ในอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลลึ้นจี้สูญเสียความชื้นถึง 7% ของน้ำหนักเปลือก หลังจากนั้นอีก 4 ชั่วโมง เปลือกผลลึ้นจี้จะสูญเสียความชื้นเพิ่มมากขึ้นเป็น 40% และจะเพิ่มขึ้นเป็น 60% ภายหลังจาก 64 ชั่วโมง ของการเก็บรักษา (Underhill, 1992) การเก็บผลลึ้นจี้ไว้ในภาวะที่ไม่เหมาะสมจะช่วยเร่งการสูญเสียความชื้นของเปลือกผลลึ้นจี้ การสูญเสียความชื้นของเปลือกผลลึ้นจี้จะทำให้เปลือกมีลักษณะแห้งแข็ง และเกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อบริเวณเปลือกผลลึ้นจี้ (Underhill and Critchley, 1993) ส่งผลให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินได้โดยตรง แสดงให้เห็นว่าการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลึ้นจี้เกี่ยวข้องกับการสูญเสียความชื้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญระหว่างการเก็บรักษาผลลึ้นจี้ (Underhill, 1992)

การชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลึ้นจี่ภายหลังการเก็บเกี่ยว สามารถทำได้โดยการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และนำผลลึ้นจี่บรรจุในถุงพลาสติกเก็บไว้ที่อุณหภูมิค่าประมาณ 5 องศาเซลเซียส สามารถรักษาสีเปลือกผลลึ้นจี่ไว้ได้ 4 สัปดาห์ นอกจากนี้ได้มีผู้พยายามที่จะหาวิธีในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลลึ้นจี่หลายวิธี ตัวอย่าง ได้แก่ การรักษาสีแดงของเปลือกผลลึ้นจี่ให้คงไว้ในระหว่างการเก็บรักษา โดยการรมผลลึ้นจี่ด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือนำผลลึ้นจี่ไปจุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (60 กรัม/ลิตร) นาน 10 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 4% เป็นเวลา 2 หรือ 3 นาที หรือนำไปจุ่มในสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 10 % นาน 5 นาที ก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส สามารถยืดระยะเวลาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลึ้นจี่ได้นาน 28 วัน (Duvenhage, 1994)

การใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์ เช่น โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือ โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่บริเวณเปลือกของผลลึ้นจี่ที่มีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ โดยซัลไฟต์จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และสารประกอบซัลเฟอร์จะไปจับกับแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารสีแดงของเปลือกผลลึ้นจี่ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอนโทไซยานิน (anthocyanin complex) ที่มีความคงตัวสูง ทำให้สามารถควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Zauberman *et.al.*, 1991 และ Fuchs *et.al.*, 1993)

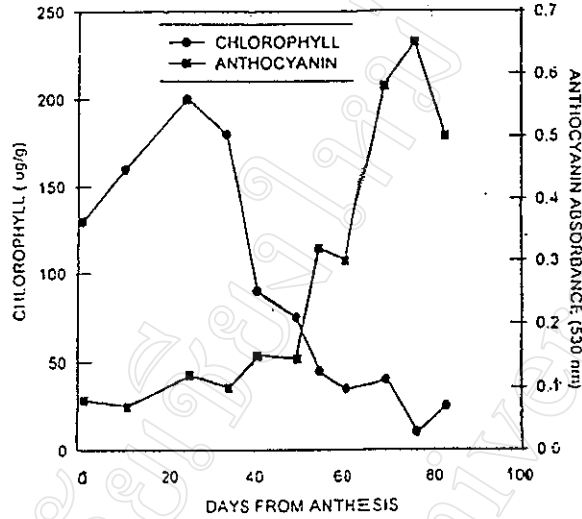
การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่บริเวณเปลือกของผลลึ้นจี่ ทำได้โดยนำผลลึ้นจี่มาจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟูริก หรือ สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าพีเอชหลายๆระดับ คือ 0.2 , 0.4 และ 0.6 ใช้ระยะเวลาในการจุ่ม 5, 10 และ 15 นาที ทั้งก่อนและภายหลังการนำผลลึ้นจี่ไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น พบว่าภาวะที่มีค่าพีเอชค่าและเวลาในการแช่ที่นานมากขึ้นจะสามารถช่วยรักษาสีแดงของเปลือกผลลึ้นจี่ให้คงอยู่ได้ ซึ่งก็คือการจุ่มในสารละลายที่มีค่าพีเอช 0.2 นาน 15 นาที จะให้ผลในการรักษาสีแดงของเปลือกผลลึ้นจี่ให้คงไว้ได้ดีที่สุด (Kesta และ Leelawatana, 1992)

การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเปลือกผลลึ้นจี่โดยการรมผลลึ้นจี่ด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เปรียบเทียบกับผลลึ้นจี่ที่ไม่ได้รม พบว่าผลลึ้นจี่ที่ไม่ได้รมจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอย่างสมบูรณ์ ส่วนผลลึ้นจี่ที่ผ่านการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะพอกสีเปลือกของผลลึ้นจี่ให้มีสีเหลืองอ่อน แต่ระหว่างที่เก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่ง ผลลึ้นจี่ที่ถูกพอกสีจะมีสีแดงกลับมาอีกครั้ง

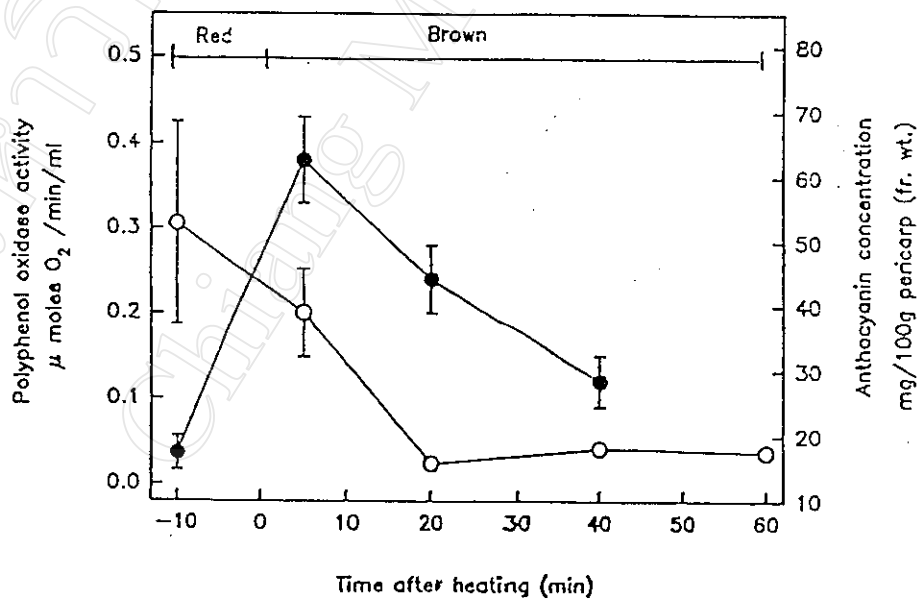
หนึ่ง ซึ่งสีแดงของผลลึ้นจี้ที่เกิดขึ้นภายหลังการถูกฟอกสีนี้จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้อีก เนื่องจากแอนโรไซยานินที่เป็นสารสีให้สีแดงของผลลึ้นจี้จะจับกับสารซัลเฟอร์ได้สารประกอบที่มีความคงตัวสูง จึงสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Kremer-Kohno และ Lonsdale, 1990)

การแช่ผลลึ้นจี้ในสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมไบซัลไฟต์ 2% ร่วมกับกรดซิตริก 10% และ โซเดียมคลอไรด์ 2% เป็นเวลา 2 นาที จะช่วยรักษาสีเปลือกของผลลึ้นจี้ไว้ได้ (Nip, 1988) และการใช้สารอนินทรีย์ เช่น สารละลายกรดซัลฟูริก หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริก อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือใช้ร่วมกับสารประกอบซัลเฟอร์จะสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ แต่การใช้สารประกอบซัลเฟอร์จะมีผลทำให้เนื้อลึ้นจี้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ และการใช้สารละลายกรดนั้นจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพในการบริโภคเนื้อลึ้นจี้ (Ray, 1998)

การจุ่มผลลึ้นจี้ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลึ้นจี้ไว้ได้นานกว่า 12 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60% (Underhill and Critchley, 1992) และการจุ่มผลลึ้นจี้ลงในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำ เช่น สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าพีเอช 0.3 ถึง 0.5 สามารถรักษาสีแดงตามธรรมชาติของเปลือกผลลึ้นจี้ไว้ได้นาน 6 วันโดยไม่เกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส (Zauberman *et al.*, 1989) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการทำให้เกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลึ้นจี้ สามารถทำได้โดยการควบคุมค่าพีเอชให้ต่ำกว่า 4.2 และใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที activity ของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดสจะลดลงถึง 28% และจะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เมื่อได้รับความร้อนต่อไป อย่างไรก็ตามการทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดสด้วยความร้อน จะทำให้ผลลึ้นจี้ได้รับความเสียหายเนื่องจากความร้อนด้วยเช่นกัน (Yueming *et al.*, 1997) การให้ความร้อนกับผลลึ้นจี้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ก็จะมีผลให้แอนโรไซยานินเกิดการสลายตัวและมีปริมาณลดลง (รูปที่ 2.4) (Underhill and Critchley, 1993) หากเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนนานกว่า 60 นาที แอนโรไซยานินในเปลือกผลลึ้นจี้ก็จะสลายตัวจนหมด เป็นผลให้เกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือกผลลึ้นจี้ทั่วทั้งผล เนื่องจากความร้อนมีผลทำให้แอนโรไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปอยู่ในรูปของ chalcone ซึ่งไม่มีสี (John, 1994)



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ และแอนโทไซยานิน ในเปลือกผลลิ้นจี่ระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนา
 ที่มา : Holcroft and Mitcham (1996)



รูปที่ 2.4 การลดลงของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (●—●) และความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน (○—○) ในเปลือกผลลิ้นจี่ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
 ที่มา : Underhill and Critchley (1993)

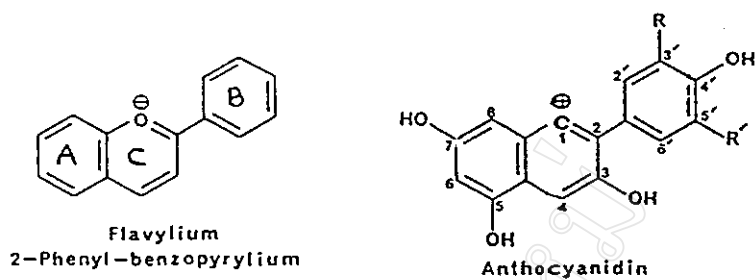
แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นรงควัตถุที่เกิดขึ้นในเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชในส่วนที่เรียกว่า vacuolar sap (John, 1994) แอนโทไซยานินเป็น กลัยโคไซด์ที่เกิดจากการจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกับส่วนที่เป็น aglycone เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (Gross, 1987) ด้วยพันธะกลัยโคไซด์ ในเนื้อเยื่อพืชจะไม่พบ aglycone ที่อยู่ในรูปอิสระ จะพบเฉพาะที่อยู่ในรูปกลัยโคไซด์ คือรวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์เท่านั้น ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิดิน คือ flavylium หรือ 2-phenyl-benzopyrylium ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (Dominic, 1989)

โครงสร้างของแอนโทไซยานินมี flavan nucleus เป็นหน่วยพื้นฐานที่สำคัญ โดย flavan nucleus ประกอบด้วยวงแหวน benzopyran 2 วง คือ วงแหวน A และวงแหวน C ต่อกับวงแหวน phenyl คือวงแหวน B โดยวงแหวน A และวงแหวน B เป็นวงแหวนสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น จึงทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนเป็นสารอนุพันธ์ชนิดอื่น และมีวงแหวน C เป็นตัวเชื่อมระหว่างวงแหวน A และ B ชนิดของแอนโทไซยานิน แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ พีลาร์โกนิน (pelargonidin) ไซยานิดิน (cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิดิน (peonidin) พีลูนิดีน (pelunidin) และมาลวิดิน (malvidin) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งจากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเรื่อยๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณสายแขนง (side chain) ของวงแหวน B (Gross, 1987) นอกจากนี้แอนโทไซยานินแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และหมู่เมทิล (methyl group) ในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน จำนวนและตำแหน่งของน้ำตาลที่เกาะจำนวนของกรดในรูป aliphatic หรือ aromatic ที่จับกับน้ำตาลบนโมเลกุล (Mazza and Miniati, 1993)

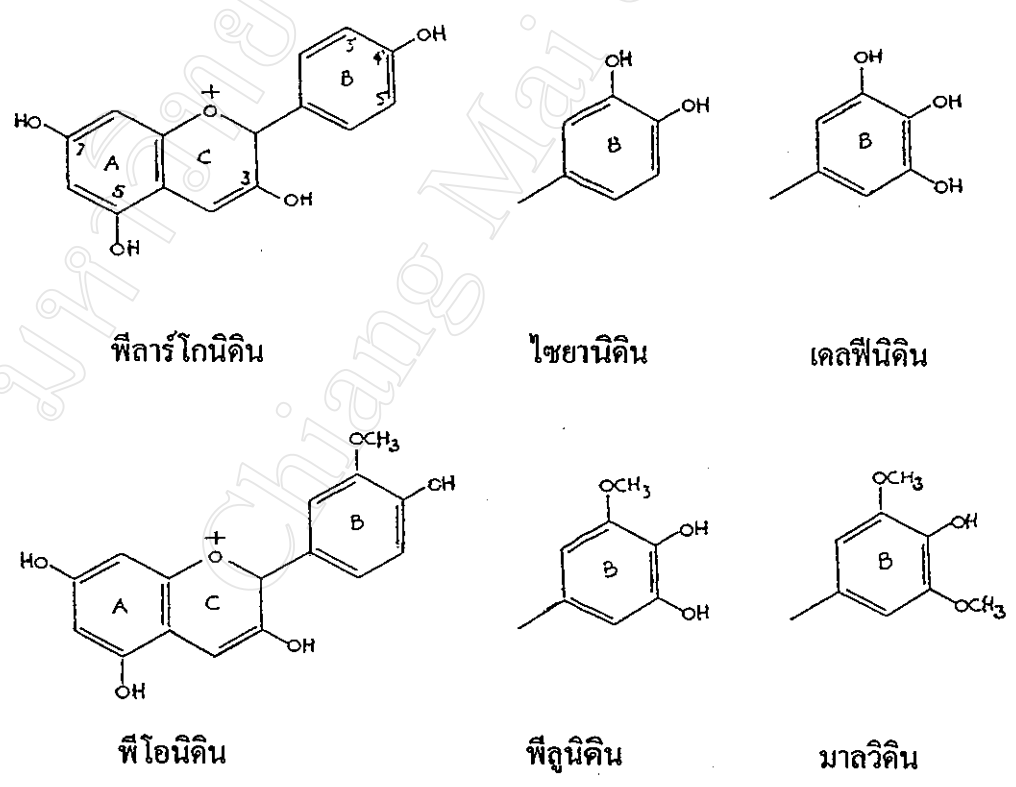
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ธรรมชาติของสารแอนโทไซยานินจะมีค่าพีเอชเป็นตัวแสดงสีของแอนโทไซยานิน โดยที่ จะแสดงสีแดงที่ค่าพีเอชต่ำ สีน้ำเงินที่ค่าพีเอชเป็นกลาง และจะไม่มีสีที่ค่าพีเอชสูง จากการที่โครงสร้างของแอนโทไซยานินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชจึงพบโครงสร้างของแอนโทไซยานิน 4 ชนิด ที่เป็นตัวแสดงภาวะของค่าพีเอช คือ flavylium cation (AH^+) quinoidal base (A) carbinol หรือ pseudobase (B) และ chalcone (C) (รูปที่ 2.7 และ 2.8)

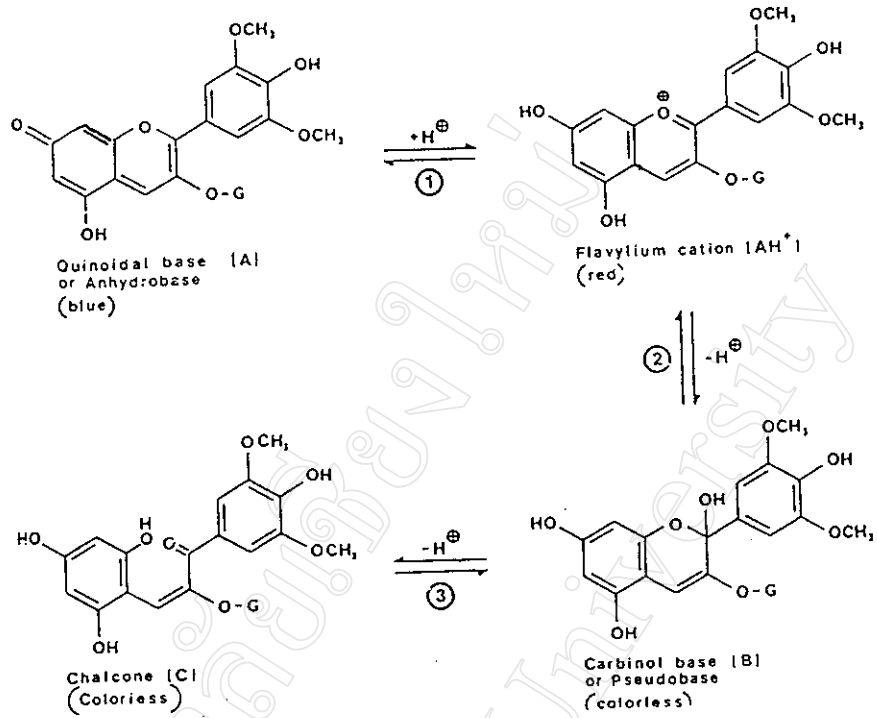


	R	R'	λ_{max} CH ₃ OH/HCl 0.01%	Occurrence
PELARGONIDIN	H	H	520	STRAWBERRY
CYANIDIN	OH	H	535	APPLE
PEONIDIN	OCH ₃	H	532	PEONY
DELPHINIDIN	OH	OH	546	DELPHINIUM
PETUNIDIN	OCH ₃	OH	543	PETUNIA
MALVIDIN	OCH ₃	OCH ₃	542	GRAPES

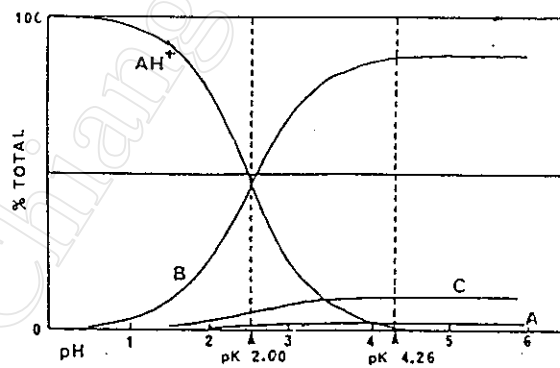
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิดิน
ที่มา : Dominic (1989)



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้ง 6 กลุ่ม
ที่มา : Gross (1987)



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลาย
ที่มา : Dominic (1989)



รูปที่ 2.8 การกระจายโครงสร้างของ malvidin 3-glucoside ในสารละลายที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเมื่อ AH⁺ = red cation, A = quinoidal base, B= colorless carbinol base และ C=colorless chalcone
ที่มา : Dominic (1989)

จากรูปที่ 2.7 และ 2.8 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโรไซยานิน และการกระจายตัวของโครงสร้างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในสารละลาย ในสารละลายที่มีพีเอชค่าแอนโรไซยานินจะอยู่ในรูป flavylum cation (AH^+) โดยเฉพาะในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำมาก ๆ ($pH=0.5$) จะพบแอนโรไซยานินในรูปของ AH^+ เพียงอย่างเดียว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในสารละลายให้สูงขึ้นจะมีผลให้ความเข้มข้นและสีของแอนโรไซยานินลดลงเช่นเดียวกับปริมาณ AH^+ โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ลักษณะ คือ

1. เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 3 ถึง 7 flavylum cation จะสูญเสียโปรตรอน และเกิดการ hydration กลายเป็น colorless carbinol base (B) ค่าพีเอชในช่วงนี้จึงพบแอนโรไซยานินในรูปของสัดส่วน B/AH^+ ในสารละลาย
2. ในช่วงค่าพีเอชอยู่ในช่วงระหว่าง 7 ถึง 10 พบว่า flavylum cation จะสูญเสียโปรตรอนกลายเป็น quinoidal base (A) จึงพบแอนโรไซยานินในรูปของสัดส่วน A/AH^+ ในสารละลาย
3. เมื่อค่าพีเอชของสารละลายมากกว่า 10 colorless carbinol base (B) จะกลายเป็น colorless chalcone (C) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโรไซยานินเป็นตัวชี้บ่งและแสดงสีของแอนโรไซยานินที่จะปรากฏขึ้น เพราะสีของแอนโรไซยานินขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของโครงสร้างเหล่านี้ ที่จะปรากฏในสารละลายดังกล่าว (Dominic, 1989)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวและความเข้มของแอนโรไซยานิน

สีของแอนโรไซยานินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น โครงสร้างของโมเลกุล ค่าพีเอช ความเข้มข้นของแอนโรไซยานิน อุณหภูมิ รังควัตถุที่ปรากฏ อนุผลของโลหะ เอนไซม์ ออกซิเจน กรดแอสคอร์บิก น้ำตาล ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปัจจัยอื่นๆ

1. โครงสร้างของแอนโรไซยานิน

หมู่ไฮดรอกซิล หมู่เมธิล และน้ำตาล ในโมเลกุลของแอนโรไซยานินเหล่านี้มีผลต่อความเข้มและความคงตัวของแอนโรไซยานิน การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลบนวงแหวน B

จะมีผลทำให้แอนโทไซยานินดูคลิ่นแดงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นสั้น และจะปรากฏเป็นสีน้ำเงิน เทนสีส้ม และหากหมู่ไฮดรอกซิลถูกแทนที่ด้วยหมู่เมธิล ก็จะมีผลทำให้แอนโทไซยานินปรากฏเป็นสีส้ม โครงสร้างของแอนโทไซยานินที่ประกอบด้วยกลุ่ม aromatic acyl อยู่ในโมเลกุลตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปสามารถทำให้แอนโทไซยานินที่อยู่ในธรรมชาติ หรือในสารละลายกรดอ่อนมีความคงตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลของสารฟีนอลในแอนโทไซยานิดิน และพันธะไฮโดรเจนของ aromatic acid จับกันในลักษณะประกบคู่ (sandwich type) โดยเกิดปฏิสัมพันธ์ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) ระหว่างแอนโทไซยานิดินกับกลุ่ม aromatic acyl 2 กลุ่ม

2. ความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน

ปริมาณของแอนโทไซยานินในเนื้อเยื่อพืช มีผลต่อความเข้มของสีแอนโทไซยานินที่ปรากฏ ตัวอย่างเช่น ในผลเบอร์รี่ เมื่อ cyanidin 3 – galactoside และ 3 – glucoside ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินชนิดที่พบมากที่สุด ในผลเบอร์รี่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 60 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด เป็น 160 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม มีผลทำให้เบอร์รี่มีสีแดงเข้มมากขึ้นจนมองดูเป็นสีดำ เช่นเดียวกับราสเบอร์รี่เมื่อสุกปริมาณแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของความเข้มข้นเดิม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน ดังกล่าวมีผลให้สีของแอนโทไซยานินเข้มขึ้นและมีความคงตัว

3. สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ

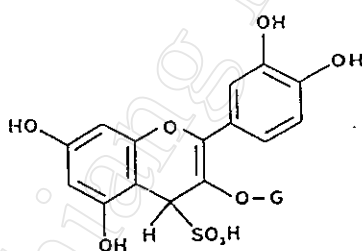
ไอออนของโลหะ เช่น แมกนีเซียม เหล็ก และโปแตสเซียมที่มีอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลแอนโทไซยานิน มีผลทำให้แอนโทไซยานินมีความคงตัวในสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีสภาพเป็นกลาง แอนโทไซยานินในรูป quinoidal จะมีความคงตัวเช่นเดียวกับ flavylium cation ที่จะไม่เปลี่ยนแปลงเป็น pseudobase โดยปฏิกิริยา hydration ซึ่งการเกิดความคงตัวของแอนโทไซยานินในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์จะส่งเสริมการเกิด self-association ของแอนโทไซยานิน (Mazza and Miniati, 1993) โดย flavylium cation จะรวมตัวกันโดยปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างหมู่ไฮโดรโฟบิกด้วยพันธะไฮโดรเจนในลักษณะ helical ทัวทั้งสาย (Dominic, 1989) เป็นผลให้แอนโทไซยานินในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีความเข้มข้นและสีเข้มมากขึ้น ส่วนแอนโทไซยานินในสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์มีความคงตัว เพราะแมกนีเซียมคลอไรด์จะไปลดความเข้มข้นของน้ำอิสระ โดยเกิดการ hydration ของแมกนีเซียมไอออน

4. ค่าพีเอช

ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อสีของแอนโรไซยานินในสารละลาย เพราะโครงสร้างของแอนโรไซยานินและความคงตัวจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพีเอช ที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 2 แอนโรไซยานินจะมีสีแดงมาก เมื่อค่าพีเอชในสารละลายเพิ่มมากขึ้นจะมีผลให้สีแดงจางลง ขณะที่สารละลายมีค่าพีเอชเป็นกลางแอนโรไซยานินจะไม่ปรากฏสี และเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สารละลายจะมีสีม่วงและสีน้ำเงิน ตามลำดับ และการให้ความร้อนแก่แอนโรไซยานินจะมีผลทำให้แอนโรไซยานินมีสีเหลือง (Mazza and Miniati, 1993)

5. สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์

สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีผลช่วยให้แอนโรไซยานินมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น โดยสารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปจับกับแอนโรไซยานินในตำแหน่งที่ 4 เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอนโรไซยานิน (รูปที่ 2.9) ซึ่งไม่มีสีเป็นผลให้แอนโรไซยานินเมื่อจับกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะกลายเป็นสีขาวครีม แต่ปฏิกิริยานี้สามารถย้อนกลับได้สีของแอนโรไซยานินจะกลับคืนมาอีกครั้งและมีความคงตัวสูง (Dominic, 1989)



รูปที่ 2.9 สารประกอบเชิงซ้อนของแอนโรไซยานิน

ที่มา : Dominic (1989)

กระบวนการทำแห้งอาหาร

การทำแห้งอาหาร หมายถึง การกำจัดความชื้นออกจากอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือเพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารให้มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารจนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และยับยั้งปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียได้ ทั้งนี้การกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อาหารต้องอยู่ในลักษณะที่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารน้อยที่สุด (รุ่งนภา, 2535)

อย่างไรก็ตามการดึงเอาน้ำออกเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ และทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดนั้น ผู้ปฏิบัติจะต้องมีความเข้าใจถึงบทบาทและหน้าที่ของน้ำที่อยู่ในอาหาร และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการดึงเอาน้ำออกจากอาหารแต่ละชนิด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบกระบวนการผลิต เพราะน้ำเป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดของอาหารเกือบทุกชนิด คือ มีประมาณร้อยละ 65-95 ของน้ำหนักรวมของอาหาร น้ำในอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสารประกอบต่างๆ ของอาหาร คั่งนั้นสถานะของน้ำและลักษณะการกระจายตัวของน้ำในอาหารจึงเป็นปัจจัยสำคัญ หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ หรือลักษณะการกระจายตัวจะมีผลต่อคุณสมบัติหรือการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ (ไพบูลย์, 2532) น้ำในอาหารจะมีคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และเทอร์โมไดนามิกส์ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการจับตัวของน้ำกับอาหาร จึงสามารถจำแนกน้ำในอาหารออกตามรูปแบบการจับตัวของน้ำกับองค์ประกอบของอาหารได้เป็น 3 ประเภท คือ

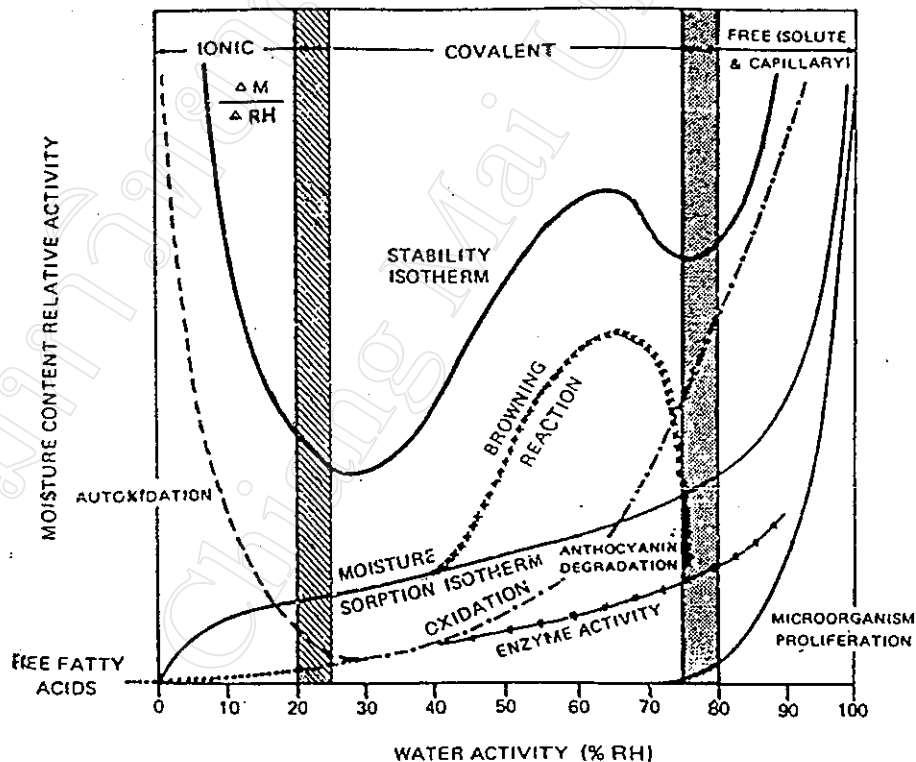
1. โมเลกุลน้ำที่ยึดกับหมู่ไอออนิก ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล และอะมิโน
2. โมเลกุลน้ำที่ยึดกับหมู่ไฮดรอกซิลและเอไมด์ (amide) ด้วยพันธะไฮโดรเจน
3. น้ำอิสระพบในช่องว่างอินเตอร์สทิเชียล (interstitial pores)

การกำจัดน้ำเพื่อทำให้อาหารแห้งนั้น ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความร้อนลดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ (รุ่งนภา, 2535) โดยเกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้น ณ จุดที่อุณหภูมิมีความแตกต่างกันเท่านั้น การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้ง อาจเป็นแบบการนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) หรือการแผ่รังสีความร้อน (radiation) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันก็ได้ ถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารกับตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น การระเหยน้ำออกจากอาหารก็จะเกิดได้รวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันก็จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางมายังอาหารที่ต้องการทำ

แห้ง เช่น ผักและผลไม้จะได้รับความร้อนและนำไปสู่กระบวนการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้น โดยเกิดกลไกการเคลื่อนย้ายของน้ำในผักและผลไม้ น้ำบริเวณผิวนอกของผักและผลไม้จะระเหยออกไปก่อน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์บริเวณผิวนอกของผักและผลไม้เพิ่มสูงขึ้น จึงเกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากเซลล์ที่อยู่ข้างในไปยังเซลล์ที่อยู่บริเวณผิวนอกของผักและผลไม้ เพื่อเป็นการปรับค่าแรงดันออสโมติคระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อผักและผลไม้ให้สมดุลกัน เมื่อน้ำเคลื่อนที่ออกมาภายนอกก็จะระเหยกลายเป็นไอออกสู่บรรยากาศของตู้อบ หรือบรรยากาศรอบๆ ผักและผลไม้ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำในผักและผลไม้อย่างต่อเนื่อง การเคลื่อนย้ายนี้จะหยุดลงเมื่อน้ำภายในเซลล์ที่ผิวนอกไม่สามารถระเหยออกไปได้อีก (ไพบูลย์, 2532) อย่างไรก็ตาม เมื่อเกิดกลไกการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารเพื่อลดปริมาณความชื้น ระดับความยากง่ายในการกำจัดน้ำออกไปจากอาหารจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าน้ำนั้นอยู่ในกลุ่มใด น้ำอิสระจะระเหยและถูกกำจัดออกไปในตอนแรก หลังจากนั้นจะเป็นน้ำที่ยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสุดท้ายจะเป็นน้ำที่ยึดจับกันด้วยพันธะไอออนิก จากข้อมูลนี้พอสรุปได้ว่าในการกำจัดน้ำแต่ละชนิด จะต้องใช้ปริมาณพลังงานที่แตกต่างกันในการกำจัดน้ำออกไป ดังนั้นหากทราบว่ากระบวนการทำแห้งที่ดำเนินไปในแต่ละช่วงนั้น มีผลต่อการเคลื่อนย้ายและกำจัดน้ำประเภทใด ก็จะมีประโยชน์ในการออกแบบกระบวนการผลิต และเลือกใช้พลังงานในการกำจัดน้ำในแต่ละรูปแบบให้เหมาะสม ส่วนค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ของอาหารสามารถชี้บ่งถึงรูปแบบการจับตัวของน้ำกับอาหารได้ว่ามีน้ำยึดจับกันในรูปแบบใด (รูปที่ 2.10) ปริมาณความชื้นสมดุล หรือค่า a_w จึงเป็นขีดจำกัดด้านต่ำของความแตกต่าง (gradient) ในการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ และสามารถคาดได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะให้ปริมาณความชื้นสมดุลที่ต่ำลง และมีผลทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้นสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w (รูปที่ 2.10) และรูปแบบการยึดเกาะกันของน้ำในอาหารพบ ที่ค่า a_w ระหว่าง 0-0.25 จะเป็นช่วงที่น้ำยึดเกาะกันด้วยพันธะไอออนิก ในช่วงค่า a_w ตั้งแต่ 0.25-0.75 โมเลกุลน้ำยึดเกาะกันด้วยพันธะโควาเลนต์ และ ค่า a_w ตั้งแต่ 0.75-1.0 จะเป็นช่วงของน้ำอิสระ กลไกที่แตกต่างกันของน้ำที่ยึดกับของแข็งนี้มีผลต่อลักษณะเฉพาะของคุณภาพอาหารระหว่างการเก็บรักษาด้วย (รุ่งนภา, 2535) ดังนั้นในการออกแบบกระบวนการทำแห้ง จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญมากที่สุดในกระบวนการทำแห้งด้วยความร้อน ถึงแม้จะมีความพยายามที่จะหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่ทำลายคุณภาพผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด แต่ถึงอย่างไรผลิตภัณฑ์ก็ยังได้รับความเสียหายเนื่องจากความร้อน เช่น มีการสูญเสียกลิ่น รส สี และรวมถึงคุณค่า

ทางอาหารอื่นๆ เป็นต้น ความเสียหายนี้จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และการออกแบบกระบวนการทำแห้งให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานานย่อมได้รับความเสียหายมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความร้อนในระยะเวลาสั้น จึงได้มีความพยายามที่จะลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งให้เหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ นอกจากจะเป็นการลดการสูญเสียเนื่องจากความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์แล้ว ยังเป็นการลดพลังงานและต้นทุนในการผลิตให้น้อยลงอีกด้วย ในการทำแห้งระดับอุตสาหกรรมจึงมีการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารกับกระบวนการผลิตที่รวดเร็ว ดังนั้นปัจจัยที่นำไปสู่การลดระยะเวลาในการทำแห้งจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา (Holdsworth, 1971)



รูปที่ 2.10 อิทธิพลของค่าวอเตอร์แอคทีวิตีต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร
ที่มา : John (1994)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งและระยะเวลาในการทำแห้ง

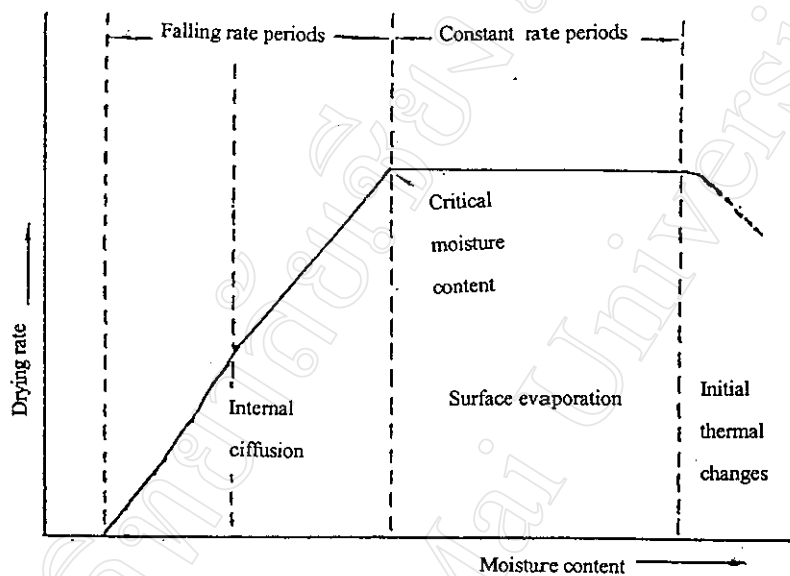
ปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งและระยะเวลาในการทำแห้ง คือ

1. คุณสมบัติของอาหารและผลิตภัณฑ์

ลักษณะทางเคมีและกายภาพของอาหาร เป็นลักษณะที่ใช้ในการจำแนกชนิดของกระบวนการทำแห้ง หากมีการเลือกใช้กระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสมจะนำไปสู่การไม่ยอมรับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น กลิ่น รสชาติ สี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของอาหารที่สำคัญ คือ องค์ประกอบ โครงสร้าง ขนาด และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเคลื่อนตัวของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเคลื่อนตัวของน้ำออกจากภายในไปสู่บริเวณภายนอกรอบๆ ผลิตภัณฑ์จะถูกควบคุมโดยความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายในกับผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หรือการแพร่ของน้ำจากผิวหน้าไปสู่บรรยากาศ ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ของมวลสาร คือความแตกต่างของน้ำภายในอาหารและมวลของอาหารที่เหลือภายหลังจากการทำแห้ง ดังนั้นการแพร่ของน้ำออกจากผิวหน้าได้อย่างรวดเร็ว จึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งที่เร็วขึ้น การเพิ่มอัตราการแพร่ที่บริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ อาจทำได้โดยการใช้ลมร้อนพัดผ่านบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ จะเพิ่มความแตกต่างของความดันไอน้ำ หรือเพิ่มพื้นที่ผิวให้ผลิตภัณฑ์ได้สัมผัสกับลมร้อนมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างที่ถูกต้องไว้โดยลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวบ่อยครั้งจึงไม่สามารถลดระยะเวลาการทำแห้งได้มากนัก ตัวอย่างเช่น การอบแห้งแครอททั้งหัว

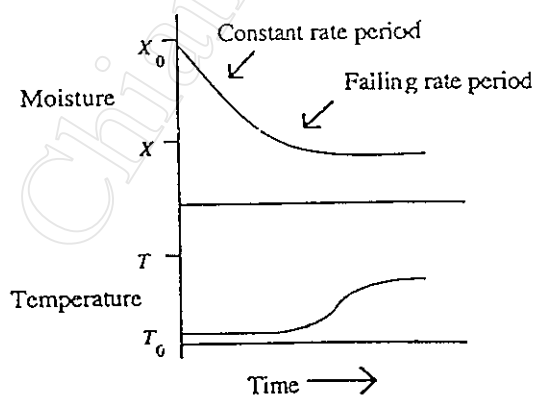
ชนิดของกราฟอัตราการทำแห้งสามารถนำมาใช้พิจารณาระยะเวลาในการทำแห้งที่มีผลมาจากขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ อาหารหลายชนิดอัตราการทำแห้งเริ่มต้นจะคงที่ และหลังจากนั้นจะลดลง กราฟอัตราการทำแห้งจึงถูกแบ่งออกเป็นคาบอัตราการทำแห้งคงที่ และคาบอัตราการทำแห้งลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 คาบอัตราการทำแห้ง (drying rate period) ของอาหารสามารถอธิบายได้ถึงกลไกการแพร่ของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้ง (Holdsworth, 1971) เมื่อเริ่มต้นการทำแห้ง อาหารจะมีคาบอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) เนื่องจากยังสามารถรักษาระดับความชื้นที่ผิวหน้าไว้ได้ พอที่จะทำให้ค่าความดันย่อยมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิระเหยเปียก (ไพบูลย์, 2532) และอัตราการทำแห้งจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งการเคลื่อนที่ของความชื้นไปยังผิวหน้ายังมีการระเหยได้รวดเร็วกว่าการระเหยที่เกิดขึ้นที่ผิว หลังจากที่มีความชื้นลดลงถึงปริมาณความชื้นวิกฤต อัตราการทำแห้งจะลดลงด้วย ความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรงกับปริมาณความชื้นที่ลดลง (รุ่งนภา, 2535) ดังรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่าในขณะที่น้ำในอาหารลด

ลงจนถึงระดับที่การลดลงของน้ำในอาหารเริ่มคงที่ จะเป็นช่วงที่อาหารมีอัตราการทำแห้งที่ลดลง (Gustavo and Humberto, 1996) ซึ่งในช่วงคาบอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) พื้นที่ผิวอิมตัวจะลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอต่อการระเหย อัตราการทำแห้งจึงลดลงขณะที่พื้นที่ผิวไม่อิมตัวเพิ่มขึ้น (รุ่งนภา, 2535)



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างกราฟอัตราการทำแห้งของอาหาร

ที่มา: Holdsworth (1971)



รูปที่ 2.12 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณความชื้นในอาหารระหว่างการทำแห้ง

ที่มา : Gustavo and Humberto (1996)

2. การจัดการผลิตภัณฑ์ให้มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวหน้าหรือตัวกลาง

ความสำคัญของปัจจัยนี้วัดได้โดยพิจารณาผลกระทบจากปริมาณผลิตภัณฑ์บนเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) ความหนาของผลิตภัณฑ์ภายในถาด จะมีผลต่อระยะเวลาในการทำแห้ง ซึ่งถ้าปริมาณผลิตภัณฑ์บนถาดมีน้อย ผลิตภัณฑ์มีการกระจายสม่ำเสมอ จะส่งผลให้เวลาในการทำแห้งสั้น และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จะมีความแห้งสม่ำเสมอทั่วกันด้วย

3. สภาพที่ใช้ในการทำแห้ง

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความเร็วลมที่ใช้ในการทำแห้ง มีผลต่ออัตราการทำแห้ง และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Holdsworth, 1971)

3.1 ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ถ้าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับศูนย์แสดงว่าอากาศอึดตัว การอบแห้งจะไม่เกิดขึ้น ในช่วงระยะเริ่มต้นของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ที่ความชื้นปานกลางเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิมิมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการทำแห้งก็จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และถึงแม้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมินี้จะเพิ่มขึ้นอีก ก็จะไม่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง สำหรับในระยะสุดท้ายของการอบแห้ง พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะไม่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง อย่างไรก็ตามในทุกกรณี อัตราการทำแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งลดลงและมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ความสัมพันธ์นี้สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงของคุณสมบัติในการยอมให้น้ำผ่าน ในระยะเริ่มต้นของการอบแห้ง การเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ อัตราการทำแห้งถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าของอาหาร ในขณะที่ช่วงระยะหลังของการทำแห้ง อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความต้านทานภายในที่มีต่อการเคลื่อนย้ายของความชื้น ดังนั้นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่เพิ่มขึ้น จึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งเพียงเล็กน้อย

3.2 อุณหภูมิของอากาศ อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนเป็นแรงสำหรับเคลื่อนน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งน้ำจะมีการยึดจับกับอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำแห้งจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาการอบแห้งผ่านไประยะหนึ่ง ผลิตภัณฑ์จะได้รับความเสียหายเนื่องจากความร้อนเช่นเดียวกับอัตราการทำแห้งเริ่มลดลงและการระเหยของน้ำลดลง ด้วยเหตุนี้กระบวนการทำแห้งโดย

ทั่วไปจะเริ่มต้นที่อุณหภูมิสูง แล้วค่อยๆ ลดอุณหภูมิตลงจนถึงระดับที่จะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนลดลง (Somogyi and Luh, 1986) การใช้อุณหภูมิต่ำในช่วงระยะสุดท้ายของการอบแห้งจะสามารถลดความเสียหายจากการเกิดสีน้ำตาลและการเกิดคาราเมลของน้ำตาลได้ เพราะหากยังใช้อุณหภูมิสูงในช่วงคาบอัตราการทำแห้งลดลง จะทำให้ผลไม่เกิดการเปลี่ยนสีและไหม้ได้ง่าย ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในแต่ละคาบของการทำแห้งของผักและผลไม้แต่ละชนิดที่เหมาะสม จะช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี เนื้อสัมผัส กลิ่น การคืนตัว ความชื้น และคุณภาพด้านอื่นๆ ดีขึ้นได้อย่างมาก (Holdsworth, 1971)

3.3 ความเร็วลม ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วลมที่มีผลต่อการทำแห้งของมันฝรั่งที่หั่นเป็นลูกเต๋าผ่าครึ่ง โดยบรรจุในถาดมีน้ำหนักรวม 1.5 ปอนด์ต่อตารางฟุต อุณหภูมิของอากาศ 72 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าเท่ากับ 16 องศาเซลเซียส และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1,000 ฟุตต่อนาที พบว่าอัตราการทำแห้งไม่แตกต่างกันเมื่อความเร็วลมต่ำ แต่ความแตกต่างจะปรากฏชัดเมื่อใช้ความเร็วสูง ในขณะที่ปริมาณความชื้นลดลง อัตราการทำแห้งจะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วลมอีกต่อไป (ไพบูลย์, 2532)

4. วิธีการทำแห้ง

การเลือกใช้วิธีการทำแห้งให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต คือปัจจัยสำคัญที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเลือกใช้วิธีการทำแห้งที่เหมาะสมนั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ ประการแรกที่ต้องพิจารณา คือรูปร่างของวัตถุดิบ โดยจะต้องพิจารณาว่าวัตถุดิบที่ใช้มีความไวต่อการได้รับความเสียหายเนื่องจากความร้อน หรือปฏิกิริยาต่างๆ มากน้อยเพียงไร ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ภายหลังการทำแห้งที่ต้องการ และที่สำคัญคือต้นทุนการผลิต (Somogyi *et al.*, 1996) นอกจากนี้สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ลักษณะในการทำงานของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิด กลไกการถ่ายเทความร้อน เช่น การพาความร้อน หรือการแผ่รังสี ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของวิธีการทำแห้ง และปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (Holdsworth, 1971)

วิธีการเก็บรักษาอาหารแห้งและอายุการเก็บรักษา

การผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำหรืออาหารแห้งนั้นมิวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ซึ่งการที่จะวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำน้อยมากๆ นั้นดูค่อนข้างยากมาก เพราะว่าปฏิกิริยาบางอย่างอาจ

เกิดขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะต้องมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพ เพราะการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่จะช่วยควบคุมและมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปมี 3 ปัจจัยหลัก คือ ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ สภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาหรือการจำหน่าย และคุณสมบัติของภาชนะบรรจุ หากมีการควบคุมปัจจัยทั้ง 3 ดังกล่าวให้มีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาแล้ว จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้

ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

1. ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงจะมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่จัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงนั้นจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ได้รับความเสียหายเนื่องจากจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูง เนื่องจากปริมาณความชื้นต่ำ เช่น ผลไม้อบแห้งจะมีปริมาณความชื้นอยู่ประมาณ 15-30 % และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.65 (Gordon, 1993) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่าค่าวิกฤต (ไพบูลย์, 2532) จากรูปที่ 2.10 ที่แสดงถึงอิทธิพลของค่า a_w ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร จะเห็นว่าแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้เมื่อค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 ส่วนการเจริญของยีสต์และราจะถูกยับยั้งที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.7 (Somogyi and Luh, 1986) ดังนั้นอาหารที่นำมาเก็บรักษาควรมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.7 ผลิตภัณฑ์จะปลอดภัยจากจุลินทรีย์ได้ จึงเป็นเหตุผลให้อาหารแห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูง แต่ทั้งนี้จะต้องมีการรักษาค่า a_w ของอาหารไม่ให้เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (จิตรนา และคณะ, 2539) เพราะอาหารที่มีปริมาณน้ำต่ำนั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็จะมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาทันที แต่ในบางครั้งการยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อยก็สามารถทำได้ หากมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ค่าพีเอช เกลือ สารป้องกันจุลินทรีย์ และอุณหภูมิ (ไพบูลย์, 2532) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์สูง แต่ปฏิกิริยาทางเคมีก็ยังสามารถดำเนินต่อไปได้เรื่อยๆ ในอาหารแห้งระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาออกโตออกซิเดชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในภาวะที่มีปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็สามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็วและนำไปสู่ความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์ได้ (Gordon, 1993)

2. สภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาหรือการรอจำหน่าย

สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษา หรือการรอจำหน่ายเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่มีผลต่ออายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องพิจารณาและจัดสภาพในการเก็บรักษาให้เหมาะสมเพื่อควบคุมหรือหลีกเลี่ยงสภาวะที่เป็นปัจจัยที่นำไปสู่ความไม่คงตัวของอาหารแห้ง ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะจัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูง ต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ แต่ก็ยังมีอีกหลายสาเหตุ ที่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งเสื่อมคุณภาพลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา เช่น แสง อุณหภูมิ ออกซิเจน และความชื้น ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเหล่านี้หากไม่มีการควบคุมจะเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความไม่คงตัวทั้งทางเคมีและกายภาพเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพราะปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น แสงและออกซิเจนจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาออกโตออกซิเดชัน โดยเฉพาะปฏิกิริยาออกโตออกซิเดชัน ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้กับส่วนประกอบของอาหารหลายชนิด เช่น ถ้าเกิดกับไขมันจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นหืน และหากเกิดขึ้นกับวิตามินและรงควัตถุก็จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณค่าทางอาหาร และมีสีเปลี่ยนไป นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งไว้ จะต้องพิจารณาถึงปริมาณความชื้นสมดุลของอากาศในระหว่างการเก็บรักษาด้วย เพราะผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นสมดุลกับบรรยากาศเฉลี่ย อาหารจะดูดความชื้นจากอากาศ จึงควรป้องกันโดยการเก็บรักษาในภาชนะที่ปิดสนิท แต่ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นสูงกว่าความชื้นสมดุลของอากาศ เช่น หอม และกระเทียม จะต้องเก็บรักษาในภาชนะโปร่งที่มีการระบายอากาศได้ดี เพราะจะมีการระเหยน้ำออกจากหอมและกระเทียม ถ้าเก็บรักษาในภาชนะปิดสนิท น้ำที่ระเหยจะควบแน่นเป็นหยดน้ำเปียกที่ผิว ทำให้เชื้อราจะเจริญได้ง่าย (จิตรนา และคณะ, 2539)

3. ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร และช่วยยืดอายุระหว่างการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ ภาชนะบรรจุมีหน้าที่หลัก คือช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารจากอิทธิพลภายนอก อันจะเป็นสาเหตุนำไปสู่ความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา หรือรอการจำหน่าย เช่น แผลง ฟุ่นละออง การกดทับ รวมถึงปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมเสียของคุณภาพผลิตภัณฑ์ คือ แสง อุณหภูมิ ความชื้น และออกซิเจน เป็นต้น ภาชนะบรรจุจึงมีบทบาทสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ โดยช่วยควบคุมสภาวะแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษา หรือการรอจำหน่ายให้เหมาะสม

ปัจจุบันการพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตภาชนะบรรจุมีความก้าวหน้ามากขึ้น ได้มีการนำวัสดุต่างๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุ ทั้งขวดแก้ว กระดาษ โลหะ และพลาสติก เพื่อต้องการให้ได้ภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารให้มากที่สุด ในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุชนิดใด จำเป็นต้องคิดถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ต้นทุน ความสะดวกในการขนย้าย การขนส่ง และต้องช่วยป้องกันการบุบสลายของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี และที่สำคัญภาชนะบรรจุต้องมีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนั้นการเลือกภาชนะบรรจุ จำเป็นต้องยอมรับความเป็นจริงที่ว่าไม่มีภาชนะบรรจุชนิดใดที่มีคุณสมบัติสามารถป้องกันการสูญเสียได้ 100 % ดังนั้นจะต้องมีความเข้าใจถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารว่าเป็นชนิดใดและมีความไวต่อปัจจัยใดที่เป็นสาเหตุนำไปสู่การเสื่อมเสีย เพื่อเป็นพื้นฐานการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันได้อย่างเหมาะสม (John, 1993) ตัวอย่างเช่น ผักและผลไม้บอบแห้ง ปัจจัยหลักที่นำไปสู่ความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์ คือ ออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง เช่น ในแคโรทอบแห้งสีจะซีดลงเนื่องจากสารสีถูกทำลาย มันฝรั่งอบแห้งจะมีการพัฒนากลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติเกิดขึ้น นอกจากนี้ผักและผลไม้บอบแห้งยังมีความไวต่อความชื้น ซึ่งหากไม่ควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาให้มีความชื้นคงที่ ก็จะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาทันที ดังนั้นภาชนะบรรจุที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้บอบแห้ง จึงควรมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านเข้า-ออกของทั้งออกซิเจนและความชื้นได้เป็นอย่างดี โดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุสำหรับผักและผลไม้บอบแห้ง คือ โพลีเอทิลีน (Gordon, 1993) โพลีเอทิลีนที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการป้องกัน และมีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของสารต่างๆ ได้แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 ที่แสดงถึงคุณสมบัติของโพลีเอทิลีนแต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่าโพลีเอทิลีนที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้โพลีเอทิลีนชนิดใด จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสำคัญ

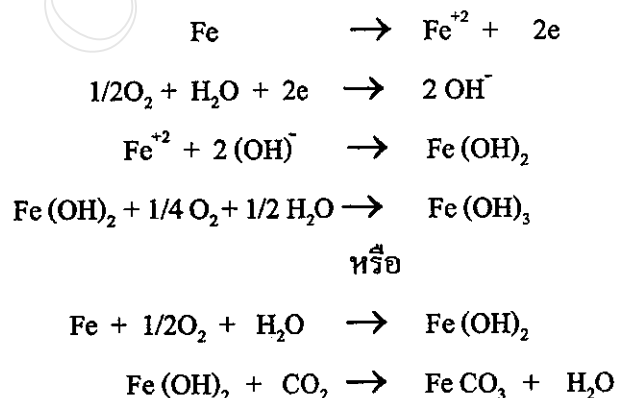
การพัฒนาทางด้านภาชนะบรรจุ นอกจากจะมีการพัฒนาทางด้านวัสดุที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุให้มีคุณสมบัติที่ดีทั้งทางด้านทนทานต่อความร้อน อากาศ การผ่านเข้า-ออกของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนแล้ว ยังได้มีการพัฒนาสารเพื่อใช้ร่วมกับภาชนะบรรจุเหล่านี้ด้วย เช่น สารดูดออกซิเจน และสารดูดความชื้น ซึ่งสารเหล่านี้สามารถใช้ควบคู่กับวิธีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่รู้จักและใช้โดยทั่วไป โดยผลที่ได้จากการใช้สารเหล่านี้สามารถเก็บรักษาอาหารให้มีคุณภาพและอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าในอดีตที่ผ่านมา

4. สารดูดความชื้น

ความชื้นนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมากสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เพราะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแห้ง ต้องมีการควบคุมความชื้นไม่ให้เพิ่มสูงขึ้น เพราะความชื้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและปฏิกิริยาเคมี สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความชื้น ปัจจุบันนอกจากจะมีการนำภาชนะบรรจุเข้ามามีบทบาทในการรักษาคุณภาพ โดยเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านเข้า-ออกของความชื้นได้เป็นอย่างดีแล้ว ยังได้มีการพัฒนานำสารดูดความชื้นมาใช้ร่วมกับภาชนะบรรจุด้วย สารดูดความชื้นที่นิยมใช้ คือ ซิลิกาเจล ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้สูง สามารถดูดความชื้นได้ประมาณ 40 % ของน้ำหนักตัว และยังมีลักษณะพิเศษ คือเมื่อดูดความชื้นเข้าไปแล้วยังคงมีลักษณะแห้งไม่จับตัวกันเป็นก้อน ซิลิกาเจลจึงเป็นสารที่นิยมนำมาใช้ในการป้องกันความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายในภาชนะบรรจุไม่ให้เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

5. สารดูดออกซิเจน

เนื่องจากออกซิเจนในภาชนะบรรจุมีบทบาทมากต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ดังนั้นการกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยถนอมรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารให้คงอยู่ได้นาน การใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการบรรจุอาหารในภาวะสุญญากาศก็เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ต่อมาได้มีการพัฒนาสารดูดออกซิเจนขึ้นในประเทศญี่ปุ่นและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สารดูดออกซิเจนที่พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีหลายชนิด เช่น การใช้ผงเหล็ก หรือกรดแอสคอร์บิก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น deoxidizer สารที่นิยมใช้ในการผลิตและจำหน่ายมากในปัจจุบัน ได้แก่ ผงเหล็ก ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดออกซิเจน โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ดังนี้



หากมีการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่ถูกต้องเหมาะสม ร่วมกับการใช้สารดูดออกซิเจนในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร จะสามารถลดปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุให้เหลือน้อยกว่า 0.1% ได้ และสามารถรักษาภาวะภายในภาชนะบรรจุให้อยู่ในภาวะไร้ออกซิเจนได้เป็นเวลาหลายเดือน หรืออาจได้นานเป็นปี (จิตรนา และคณะ, 2539)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติบางอย่างของโพลีเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุ

ชนิดของโพลีเมอร์	อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (มิลลิเมตร ต่อ 100 ตารางนิ้ว)			อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (มิลลิกรัม ต่อ 100 ตารางนิ้ว)
	O ₂	CO ₂	N ₂	
Polyolefins				
- Low Density Polyethylene (LDPE)	500	2700	180	1.0-1.5
- Medium Density Polyethylene (MDPE)	250-535	1000-2500	85-315	0.7
- High Density Polyethylene (HDPE)	185	580	42	0.3
- Polypropylene (PP)	150-240	500-800	40-48	0.7
- Biaxially Oriented Polypropylene (OPP)	100-160	540	20	0.25-0.4
Ionomers				
Ethylene-Vinyl Copolymers	300-400	600-1000	50-100	1.5-2.0
- Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVAc)	840	6000	400	2.0-2.3
- Ethylene Vinyl Alcohol (EVOH)				
(Dry)	0.01-0.09	-	-	-
(Wet)	0.65-2.03	-	-	1.4-3.8
Vinyl Plastics				
- Polyvinyl Chloride (PVC)				
(Nonplasticized)	4-30	4.50	1-1.0	0.9-5.0
(plasticized)	100-1400	20-12000	-	5-4.0
- Polyvinylidene Chloride (PVDC)				
(Homopolymer)	0.1	-	-	0.044
(Copolymer)	0.08-0.25	0.38-6.0	0.012-0.16	0.05-0.2

ที่มา : John (1993)