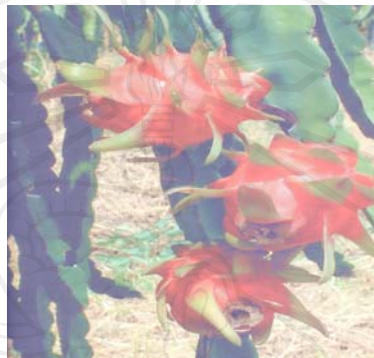


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แก้วมังกร



ภาพ 2.1 แก้วมังกร
ที่มา : สุรพงษ์ (2545)

ต้นแก้วมังกร อยู่ในวงศ์แคตทาซีอี (Cactaceae) ในสกุล ไฮโลซีรีอัส (Hylocereus) ดังภาพ 2.1 ซึ่งเป็นพืชตะบองเพชรประเภทไม้เลื้อย โดยมีความยาวลำต้น 5 เมตร หรือยาวกว่า ดังภาพ 2.2 รากมี 2 กลุ่ม คือ รากในดินและรากในอากาศ ซึ่งใช้ยึดเกาะและดูดซึมน้ำ แร่ธาตุ ลำต้นมักจะเป็น 3 แฉก หรือเหลี่ยม เป็นข้อ ๆ สีเขียว หรือเทาอมน้ำเงิน ขอบลำต้นมักจะแข็ง ตามขอบเป็นหยัก ซึ่งที่โคนโหนดมีแอ่ง และมีหนามสั้น กรณีที่ไม่มีหนามเป็นปรากฏการณ์ซึ่งเกิดน้อยมาก (สุรพงษ์, 2545)



ภาพ 2.2 ลำต้นและดอกบานของแก้วมังกร
ที่มา : สุรพงษ์ (2545)

ดอกมีขนาดใหญ่เป็นรูปทรงกรวย และบานกลางคืน โดยบานคืนเดียว มีสีขาว อาจมีสีแดงปนแต่น้อยมาก รอบ ๆ ส่วนของรังไข่แข็งแรง กลีบเลี้ยงดอกกว้างเป็นสามเหลี่ยม เกสรตัวผู้มีจำนวนมากติดกันเป็นแผง ก้านเกสรตัวเมียอ้วน ปลายเกสรตัวเมียเป็นแฉก ผลมีขนาดใหญ่ รูปปร่างทรงกลมหรือกลมแป้น รูปไข่หรือรูปไข่รี เป็นผลไม้แบบสดมีกลีบกว้าง เมล็ดรูปไข่ ขนาด 1.5×1.5 มิลลิเมตร สีสน้ำตาลไหม้ ผิวเรียบ รอยปุ่มขนาดกลางลาดเอียงบนผิว มีสารเหนียวคล้ายวุ้นหุ้มเมล็ด สกุนต์มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง เช่น เวสต์อินดีส โคลัมเบีย กัวเตมาลาและเวเนซุเอลา เป็นต้น

การจำแนกต้นแก้วมังกร สกุนต์ไฮโลซีรีอัส (สุรพงษ์, 2545)

1. *Hylocereus undatus* (Haw.) Britt. And Rose

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง ดังภาพ 2.3 มีถิ่นกำเนิดจากทวีปอเมริกาเขตร้อน ลำต้นเป็นท่อนๆ หรือข้อยาวสีเขียว มี 3 แฉก เป็นส่วนใหญ่ลำต้นมีขนาดใหญ่ 4.0-7.5 เซนติเมตร สันของแฉกแข็ง และเป็นหยัก ระหว่างหยักห่างกัน 3-5 เซนติเมตร ตรงหยักมีโหนก ส่วนโคนโหนกของหยักเป็นแอ่งและมีกลุ่มปุยขนสีขาวล้อมรอบหนามแข็ง และแหลมซึ่งเป็นรูปกรวยสีน้ำตาลเทา ขนาดเล็ก จำนวน 1-3 หนาม โดยแต่ละหนามยาว 3-6 มิลลิเมตร ณ จุดที่เกิดหนามซึ่งทำหน้าที่คล้ายตาข้าง มีคุณสมบัติของเนื้อเยื่อเจริญ นอกจากให้กำเนิดหนามแล้วยังให้กำเนิดดอก และกิ่งใหม่ได้ ลำต้นเป็นลำต้นรวม ซึ่งมีลำต้นจริงอยู่แกนกลาง โดยมีเนื้อเยื่ออวบน้ำหุ้มอยู่รอบนอกเป็นแฉก ทั้งนี้เป็นเนื้อเยื่อสะสมน้ำ อาหาร เคลือบแร่ ธาตุต่างๆ รวมทั้งสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต



ภาพ 2.3 แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวเปลือกแดง *Hylocereus undatus*

ที่มา : ฮอลิเดย์ปาร์กเขาใหญ่รีสอร์ท (2551)

ดอกแก้วมังกรยาว 25-30 เซนติเมตร เวลาดอกบานตอนกลางคืนมีกลิ่นอ่อนมาก ระหว่างพระอาทิตย์ตกและขึ้น ดอกมีความกว้าง 15-25 เซนติเมตร ลักษณะคล้ายแตร กลีบดอกวงนอกออกสีทองอ่อน ซึ่งทั้งหมดจะโค้งออกจากกลางดอก ส่วนกลีบดอกวงในออกสีขาวบริสุทธิ์ กลีบดอกกว้างและซ้อนกัน

ผลทรงกลมรี หรือรูปไข่ ผิวสีแดงบานเย็น ซึ่งบางส่วนปกคลุมด้วยกลีบผลสีเขียวเรียวยาว 2.5 เซนติเมตร เนื้อผลกินได้ มีสีขาวคล้ายไอศกรีมกะทิ ในเนื้อผลมีเมล็ดซึ่งคล้ายงา ผลอาจจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึง 12 เซนติเมตร

2. *Hylocereus costaricensis* (Weber) Britt. And Rose

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง ดังภาพ 2.4 มีถิ่นกำเนิดจากประเทศคอสตาริกา ลำต้นมี 3 แฉก เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นอ้วนลำ ขนาด 5-10 เซนติเมตร มีสีเทาอมน้ำเงิน ต้นของแฉกไม่แข็งแรงมักจะตรงและหักคั่นๆ มีหนามอ้วนสั้นสีน้ำตาล จำนวน 2-4 หนาม โดยมีขนที่หลุดได้ง่าย 2 เส้น ดอกตูมมีสีม่วงแซมแดง ดอกยาว 30 เซนติเมตร ผลมีขนาด 10 เซนติเมตร ทรงรูปไข่สีเขียวกลม



ภาพ 2.4 แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง *Hylocereus costaricensis*

ที่มา : สุรพงษ์ (2545)

3. *Hylocereus esculentus* Kimnach.

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง ลำต้นสีเขียวเข้ม ขอบแข็งและลำต้นยาวได้มากกว่า 5 เมตร ยอดอ่อนอาจมีสีม่วงแดง ลำต้นยาวเป็นท่อน โดยมีขนาดเฉลี่ย กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 10-30 เมตร กลีบดอกแคบคล้ายสามเหลี่ยม กลีบรวมด้านนอกมีสีเขียวเหลือง บางครั้งเจอสีน้ำตาล กลีบรวมด้านในมีสีขาวครีม ปลายเกสรตัวเมียมีลักษณะ 3 แฉก ผลทรงไข่ สีแดงม่วง ขนาด 9 x 6.5 เซนติเมตร มีกลีบงอกกลับ เนื้อมีสีชมพูอ่อน ออกดอกง่ายกว่าชนิดอื่นๆ พบในแก้วเตมาลา

4. *Hylocereus monacanthus* (Lem.) Britt. And Rose

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง แอ่งที่มีหนาม ห่างกันประมาณ 3 เซนติเมตร หนามขนาดเล็กมีจำนวน 1-2 หนาม ดอกมีขนาด 28 x 17 เซนติเมตร เมื่อบานกลีบผลมีขนาดใหญ่ กลีบรวมด้านนอกเงื่อสีเขียว ด้านในสีขาว ปลายเกสรตัวเมียบางครั้งเป็น 3 แฉก พบในโคลัมเบีย และปานามา

5. *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britt. And Rose

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง ดังภาพ 2.5 มีลำต้นเรียว 3 แฉก เส้นผ่าศูนย์กลาง 3-4 เซนติเมตร ต้นอ่อนสีออกขาวต่อมาเปลี่ยนเขียว ขอบลำต้นเกือบตรง ไม่แข็ง ดอกตูมมีสีม่วง ดอกเมื่อบานมีกลิ่นหอม ยาว 25-30 เซนติเมตร กลีบรูปไข่ โดยขอบมีสีแดงหรือม่วง กลีบรวมด้านนอกสีแดง ด้านในเกือบขาว ปลายเกสรตัวเมียไม่เป็นแฉก ผลรูปไข่ สีแดงเลือดหมู ขนาดผล 10 เซนติเมตร พบในปานามาตลอดไปถึงเอกวาดอร์



ภาพ 2.5 แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง *Hylocereus polyrhizus*

ที่มา : Wybraniec *et al.* (2001)

2.1.1 คุณค่าทางอาหารของแก้วมังกร

แก้วมังกร เป็นผลไม้ที่มีกากใยสูง แคลอรีต่ำ อุดมไปด้วยวิตามินซี กลูโคโรฟิลล์ เมล็ดของแก้วมังกรอุดมไปด้วยไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย แก้วมังกร มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hylocereus undatus* หรือ “dragon fruit” เป็นชื่อสามัญที่นิยมเรียกกันในฝั่งเอเชียโดยเฉพาะอย่างยิ่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แก่จีน ญี่ปุ่น เกาหลีเหนือ-ใต้ ไต้หวัน บางประเทศในยุโรปเรียกแก้วมังกรว่า “pitaya” เป็นพืชในตระกูลตะบองเพชร แก้วมังกรเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายและกำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง (ฮอลิเคย์ปาร์คเขาใหญ่รีสอร์ท, 2551)

ผลแก้วมังกรมีคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะอุดมด้วยแร่ธาตุต่างๆ ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบของผลแก้วมังกรที่ปลูกในประเทศไทย ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ปริมาณ/100 g ของผลแก้วมังกร	
ความหวาน (ของแข็งที่ละลายน้ำได้)	13.00	กรัม
น้ำตาลรีดิซซ์	6.50	กรัม
น้ำตาลทั้งหมด	11.50	กรัม
กรดอินทรีย์	0.13	กรัม
เส้นใยอาหาร	0.71	กรัม
โพแทสเซียม	212.20	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	8.70	มิลลิกรัม
แคลเซียม	134.50	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	60.50	มิลลิกรัม
วิตามินซี	9.40	มิลลิกรัม

ที่มา : สุรพงษ์ (2545)

ตาราง 2.2 ส่วนประกอบของผลแก้วมังกรที่ปลูกในประเทศเวียดนาม ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ปริมาณ/100 g ของผลแก้วมังกร	
ความชื้น	85.30	กรัม
โปรตีน	1.10	กรัม
ไขมัน	0.57	กรัม
กลูโคส	5.70	กรัม
ฟรุกโตส	3.20	กรัม
ซอร์บิทอล	0.33	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	11.20	กรัม
เส้นใยอาหาร	1.34	กรัม
เถ้า	0.56	กรัม
พลังงาน	67.70	กิโลแคลอรี
วิตามินซี	3.00	มิลลิกรัม
ไนอาซิน	2.80	มิลลิกรัม
วิตามินเอ	0.01	มิลลิกรัม
แคลเซียม	10.20	มิลลิกรัม
เหล็ก	3.37	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	38.90	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	272.00	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	27.50	มิลลิกรัม
โซเดียม	8.90	มิลลิกรัม
สังกะสี	0.35	มิลลิกรัม

ที่มา : To *et al.* (2000)

ผลแก้วมังกรในประเทศไทย ในกลุ่มผลที่สุบอร์นที่สุดและแก่ได้ที่ ความหวานตรงศูนย์กลางผล มีความหวาน 19 องศาบริกซ์ ขณะที่เนื้อใกล้เปลือกกวัดได้ 13.3 องศาบริกซ์ เนื้อของผลแก้วมังกรที่มีรสชาติหวานอมเปรี้ยวพอเหมาะ ควรมีความหวานประมาณ 13-15 องศาบริกซ์ และกรด ร้อยละ 0.22

2.1.2 การเก็บเกี่ยวผลแก้วมังกร

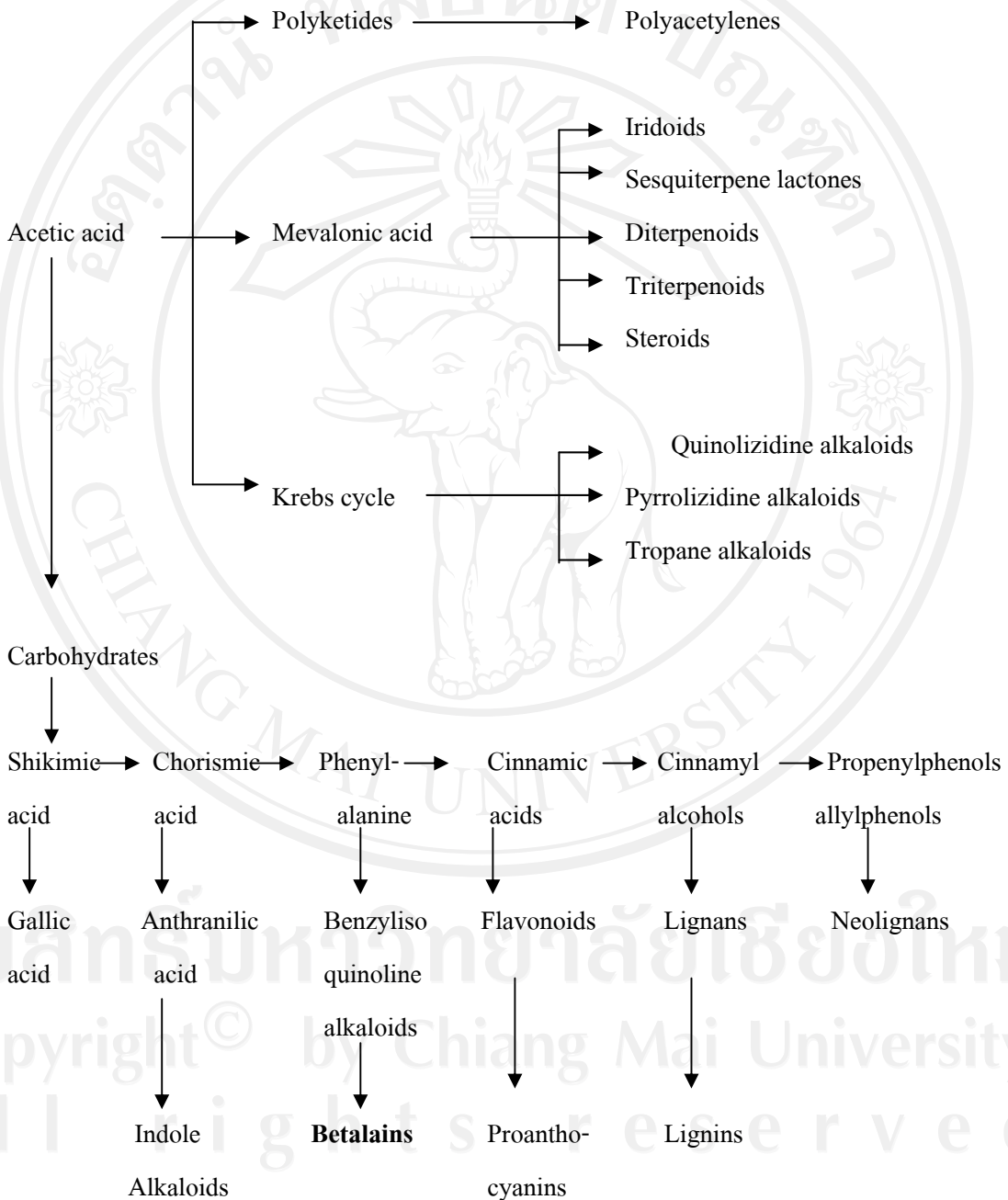
แก้วมังกรที่จะเก็บเกี่ยวผลได้นั้น คือ หลังจากดอกบานแล้วประมาณ 30 วัน หรือหลังจากผลเริ่มเปลี่ยนสีแล้วอย่างน้อย 3-4 วัน ดังภาพ 2.6 คุณภาพของผลที่เก็บเกี่ยวได้มีความหวานไม่น้อยกว่าร้อยละ 13 และมีกรดอยู่ร้อยละ 0.25 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลแก้วมังกรน่าจะเป็นผลไม้พวก non-climacteric เช่นเดียวกับผลไม้พวกองุ่น สับปะรด ส้มเขียวหวานและส้มสายน้ำผึ้ง คือ เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วส่วนใหญ่รสชาติจะไม่เปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้น ไม่มีการสุกเกิดขึ้น ไม่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น (สุรพงษ์, 2545)



ภาพ 2.6 แก้วมังกรที่จะเก็บเกี่ยวผลได้ หลังจากเริ่มเปลี่ยนสีแล้วอย่างน้อย 3-4 วัน
ที่มา : สุรพงษ์ (2545)

2.2 สารประกอบในกลุ่มบีตาเลน

บีตาเลน (betalain) เป็นกลุ่มของสารประกอบให้สี มีการพบเป็นครั้งแรกในพืชหัวบีต (*Beta vulgaris*) โดยส่วนมากจะพบมากในส่วนของแวคคิโอโนเซลล์พืช ซึ่งสังเคราะห์ของสารประกอบในกลุ่มบีตาเลน แสดงดังภาพ 2.7

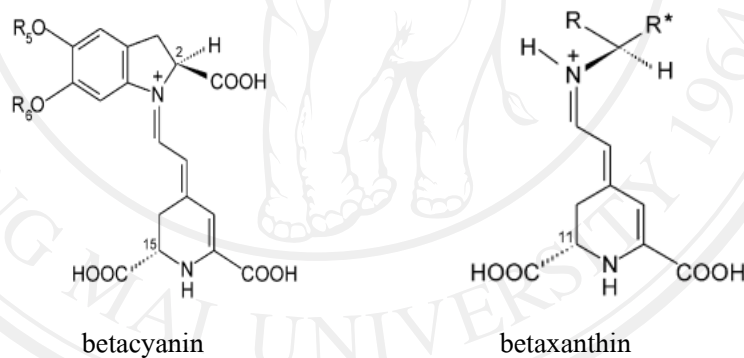


ภาพ 2.7 ชีวิตสังเคราะห์ของสารประกอบในกลุ่มบีตาเลน

ที่มา : ถาวร และนิพนธ์ (2547)

บีตาเลน เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ให้สีแดงและสีเหลืองคล้ายแอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ สมัยก่อนเรียกว่า nitrogenous anthocyanins บีตาเลนพบเฉพาะในพืชตระกูล Centrospermea และชนิดที่เป็นอาหารบริโภคได้ คือ หัวบีต นอกจากนั้นยังพบบีตาเลนได้ในผลแคคตัส (cactus fruit) และดอกไม้บางชนิด เช่น bougainville และผักโขมแดง (amaranthus) (นิธิยา, 2549; Harivaindaran *et al.*, 2008)

สารในกลุ่มบีตาเลน ประกอบด้วยสารให้สี 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ บีตาไซยานินและบีตาแซนทิน ดังภาพ 2.8 บีตาไซยานินเป็นสารให้สีแดง-ม่วง สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ในช่วง 535-550 นาโนเมตร และบีตาแซนทินเป็นสารให้สีเหลือง สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ในช่วง 475-480 นาโนเมตร บีตาไซยานินเป็นสารที่พบมากที่สุดถึงประมาณ ร้อยละ 90 ของสารในกลุ่มนี้ทั้งหมด สารในกลุ่มบีตาไซยานินที่สำคัญ ได้แก่ บีตานิิน ซึ่งพบได้มากถึง ร้อยละ 75-95 (ถาวร และนิพนธ์, 2547; Harivaindaran *et al.*, 2008; Zryd and Christinet, 2003)



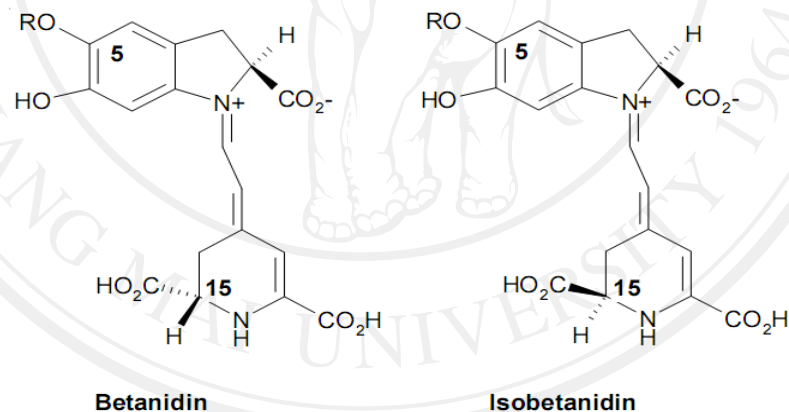
ภาพ 2.8 สูตรโครงสร้างเคมีของบีตาไซยานิน และบีตาแซนทิน

ที่มา : Zryd and Christinet (2003)

ถ้าหมู่ R' และ R ถูกแทนที่ด้วยแอลคิล (alkyl) หรือเบนซิล (benzyl) สารประกอบที่ได้จะมีสีแดง เมื่อพันธะคู่มี resonance เรียกว่า บีตาไซยานิน แต่ถ้าพันธะคู่ไม่มี resonance สารประกอบที่ได้จะมีสีเหลือง เรียกว่า บีตาแซนทิน ทั้งสารประกอบที่ให้สีแดงและสีเหลือง มีน้ำตาลและหมู่เอซิดเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลด้วย ในธรรมชาติเท่าที่มีรายงาน พบว่า มีบีตาเลนเป็นจำนวนมากเป็น บีตาไซยานิน ประมาณ 52 ชนิด และเป็นบีตาแซนทิน 17 ชนิด ทั้งสีแดงและสีเหลืองจะเกิดขึ้นอยู่รวมกันเสมอ เหมือนกับที่พบแอนโทไซยานินอยู่ร่วมกับฟลาโวนอยด์ แต่แอนโทไซยานินและบีตาไซยานิน จะไม่เกิดขึ้นด้วยกันในธรรมชาติ (นิธิยา 2549; Zryd and Christinet, 2003)

แอนโทไซยานินและบีตาเลน มีโครงสร้างทางเคมีไม่เหมือนกัน จึงบอกถึงความแตกต่างกันได้ง่าย เพราะมีช่วงดูดกลืนแสงแตกต่างกัน แอนโทไซยานินสกัดออกจากพืชได้ง่ายด้วยเมทานอล แต่สกัดออกได้เพียงเล็กน้อยด้วยน้ำ และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตร ซึ่งต่างจากบีตาเลนที่ละลายได้ดีในน้ำ บีตาไซยานินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร และบีตาแซนทินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร นอกจากนั้นยังใช้วิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis) บอกถึงความแตกต่างของแอนโทไซยานินและบีตาเลนได้ เมื่อใช้บัฟเฟอร์ที่เป็นกรดอ่อนแอนโทไซยานินจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ขณะที่บีตาเลนเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ

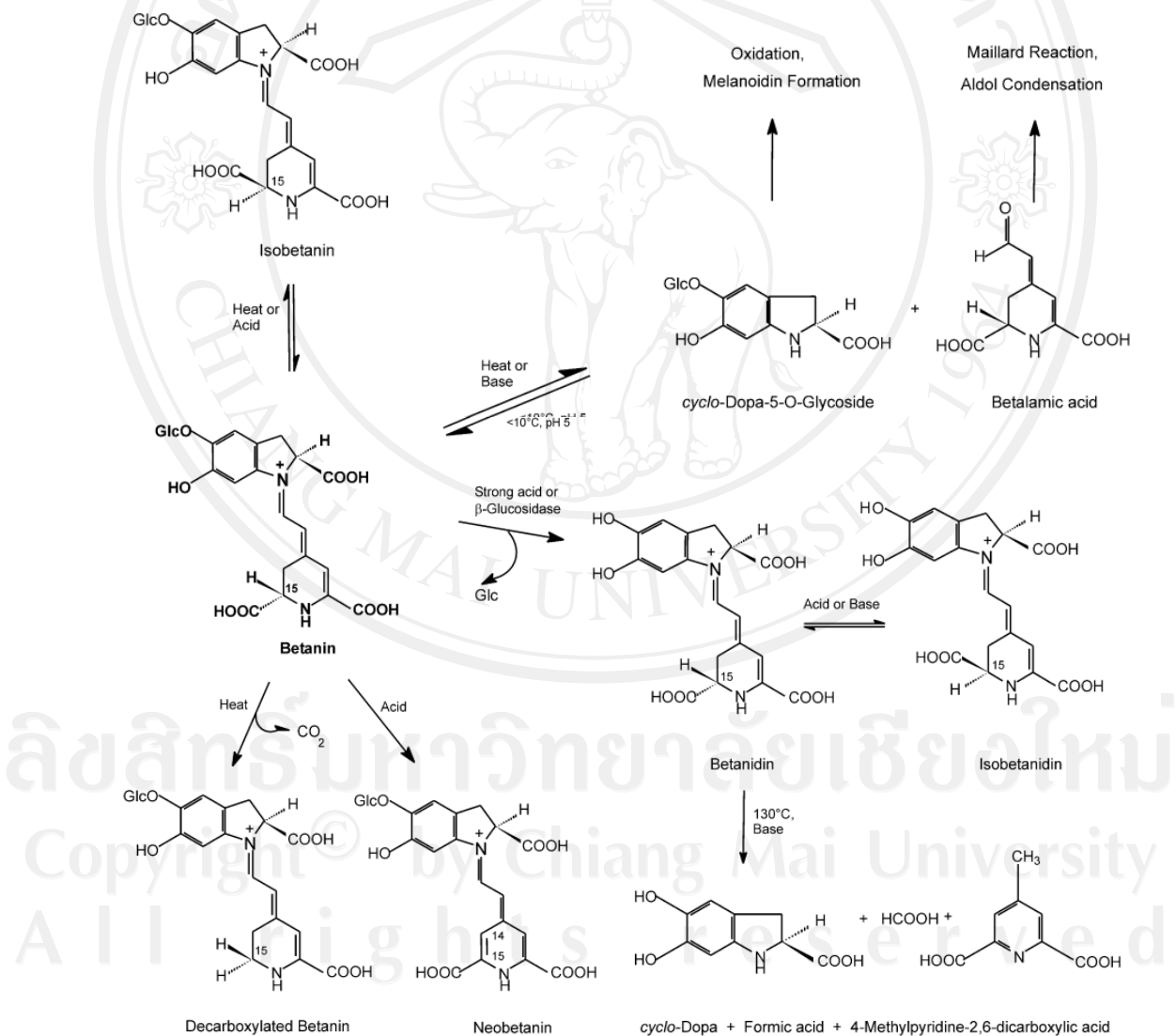
บีตาไซยานินทุกชนิดจะเป็นอนุพันธ์ของอะไกลโคนเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ บีตานิดินและไอโซบีตานิดิน ซึ่งเป็นอีพิเมอร์ของบีตานิดินที่คาร์บอนตำแหน่ง 15 สำหรับอะไกลโคนของบีตาไซยานินที่พบในหัวบีต คือ บีตานิดิน และเมื่อรวมกับน้ำตาลกลูโคสโดยหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่ง 5 จะได้เป็นบีตานิน (Zryd and Christinet, 2003; Herbach *et al.*, 2006) ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังภาพ 2.9



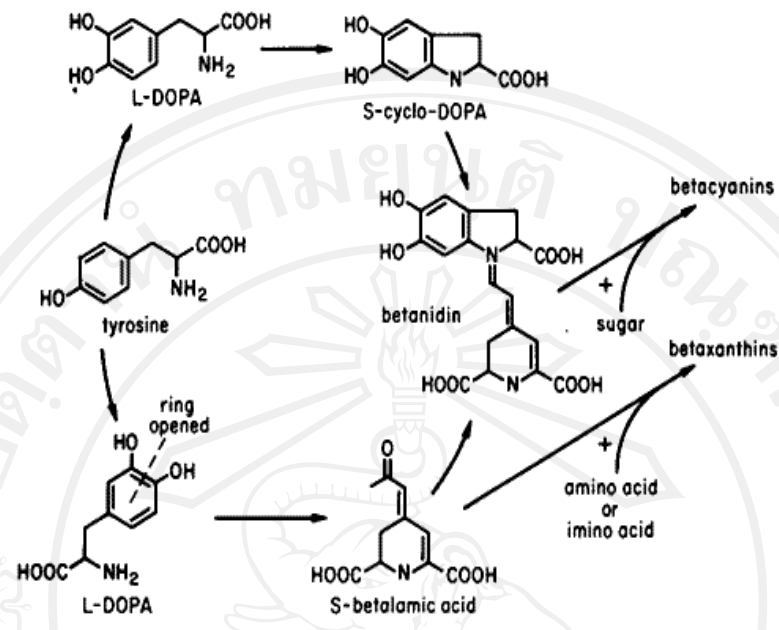
ภาพ 2.9 สูตรโครงสร้างบีตานิดินและไอโซบีตานิดิน ซึ่งเป็นอีพิเมอร์ของบีตานิดินที่ C-15

ที่มา : Zryd and Christinet (2003)

บีตาเลนสลายตัวได้ง่ายในกระบวนการแปรรูปอาหารที่ใช้ความร้อน เช่น การบรรจุกระป๋องของหัวบีต สีแดงจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม บีตานินที่เป็นรงควัตถุหลักของหัวบีต คือ betanidin-5-O-β-glucoside รูปแบบของหัวบีตที่มีลักษณะเป็นผง จะสามารถเก็บรักษาบีตาเลนได้ดีที่สุด คือ สภาวะที่มีปริมาณน้ำอิสระ 0.12 หรือมีความชื้น ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้ง สีที่สกัดได้จากหัวบีตจะมีความคงตัวที่ pH 4-6 จึงน่าสนใจที่จะนำสีจากหัวบีตมาใช้ในการอาหารที่ได้จากธรรมชาติชนิดหนึ่ง สารละลายบีตานินในน้ำเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ดังภาพ 2.10 อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (ถาวร และนิพนธ์, 2547; Stintzing and Carle, 2004)

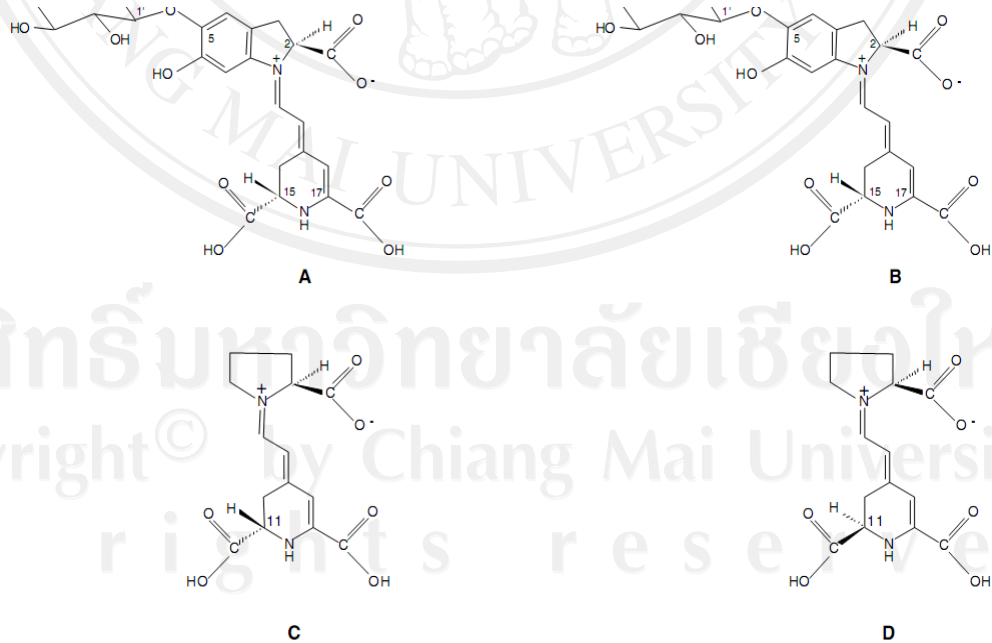


ภาพ 2.10 กระบวนการสลายตัวของบีตานินเนื่องจากกรดและความร้อน
ที่มา: Stintzing and Carle (2004)



ภาพ 2.11 การสังเคราะห์บีตาเลนจากกรดอะมิโนไทโรซีนเพื่อให้ได้เป็นบีตาไซยานินและบีตาแซนทิน

ที่มา : Colourscience.tripod.com (2009)



ภาพ 2.12 สูตรโครงสร้างเคมีของสารให้สีในกลุ่มบีตาเลนที่พบในแก้วมังกร betanin(A) phyllocactin(B) indicaxanthin(C) และ isoindicaxanthin(D)

ที่มา : Herbach *et al.* (2006)

2.2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของสารประกอบในกลุ่มบีตาเลน

สมบัติทางเคมี ภายในโมเลกุลมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักและมี 2 ขั้ว (zwitter ion)

สมบัติทางกายภาพ เป็นสารประกอบที่ละลายได้ดีในน้ำ (Stintzing *et al.*, 2002)

2.2.2 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อบีตาเลน

ความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อความคงตัวของสารให้สีในกลุ่มบีตาเลน โดย pH ที่เหมาะสม และมีความคงตัวมาก อยู่ในช่วง pH ระหว่าง 4-7 (Von Elbe *et al.*, 1974)

- เมื่อ pH ของสารละลายต่ำกว่า 3.5 ลงไป ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 535 nm
- เมื่อ pH ของสารละลายอยู่ในช่วงระหว่าง 3.5-7.0 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 538 nm
- เมื่อ pH ของสารละลายเท่ากับ 9.0 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 544 nm

2.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อบีตาเลน

บีตาไซยานิน มีความคงตัวค่อนข้างน้อยต่อความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงไปเป็นสีน้ำตาล สีของบีตาไซยานิน มีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความคงตัวของบีตาเลน แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าครึ่งชีวิตของบีตาไซยานิน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คือ 413.6 นาที และค่าครึ่งชีวิตของบีตาไซยานิน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คือ 83.5 นาที (Herbach *et al.*, 2004)

2.2.4 ผลของสารอื่นๆ ที่มีผลต่อบีตาเลน

กรดแอสคอร์บิก จะมีผลในการป้องกันการเปลี่ยนสีของบีตาเลน เมื่อให้ความร้อนสูง เช่น การสเตอริไรซ์ เมื่อมีการเติมกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 จะทำให้ค่าครึ่งชีวิตของ บีตาไซยานิน เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

ส่วนโลหะต่างๆ มีผลในการลดความคงตัวของสารให้สีให้กลุ่มบีตาเลน ซึ่งพบว่าเหล็กจะมีผลมากกว่าโครเมียม

2.3 สตรอเบอร์รี่



ภาพ 2.13 สตรอเบอร์รี่

ที่มา : Jegtvig (2007)

สตรอเบอร์รี่ ดังภาพ 2.13 เป็นพืชตระกูลเดียวกับกุหลาบ คืออยู่ในวงศ์ Rosaceae เป็นไม้ล้มลุกขนาดเล็กสูงแก่คืบ ใบเป็นใบประกอบ ขอบใบเป็นจักกร มีขนสั้นๆ คลุมผิวใบ (สรจักร, 2544)

สตรอเบอร์รี่มีหลายพันธุ์ทั้งหมดอยู่ในสกุล *Fragaria* ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในแถบอบอุ่น เดิมเป็นไม้ป่าเรียก wild strawberry ต่อมาถูกนำมาปลูกเพื่อรับประทานผลตั้งแต่ครั้งโบราณกาล ประมาณช่วงคริสต์ศตวรรษที่สิบสาม ชาวฝรั่งเศสนำสตรอเบอร์รี่ป่ามาปลูกเป็นพืชไร่ ในอเมริกา ก็มี สตรอเบอร์รี่สองสายพันธุ์ คือ *F. chiloensis* และ *F. virginiana* ซึ่งถูกนำมาแพร่พันธุ์ในยุโรป และ เกิดกลายพันธุ์ได้สายพันธุ์ใหม่กว่า 7 ชนิดที่มีลูกใหญ่ เพาะปลูกง่ายกว่าเดิม ปัจจุบันนี้สตรอเบอร์รี่ได้แพร่กระจายไปทั่วโลก มีการปรับปรุงพันธุ์ให้เหมาะกับลักษณะภูมิอากาศ

ดอกสตรอเบอรี่เป็นสีขาวหรือเงือกสีชมพู ดอกบานในฤดูใบไม้ผลิ หรือประมาณต้นฤดูหนาวของไทย หลังจากออกดอก ดอกที่ได้รับการผสมก็จะกลายเป็นผลสีแดงสด ภายในระยะเวลา 5 สัปดาห์ ผลสตรอเบอรี่ตอนเล็กๆจะเป็นสีเขียว แล้วค่อยๆเปลี่ยนเป็นเหลือง ส้ม แดง และแดงดำในที่สุด

สรจักร (2544) กล่าวว่า สตรอเบอรี่อุดมด้วยวิตามินซีและธาตุเหล็ก สารอาหารในสตรอเบอรี่สด 1 ถ้วยตวง หรือประมาณ 145 กรัม แสดงคุณค่าทางโภชนาการ ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ข้อมูลทางโภชนาการของสตรอเบอรี่สด 1 ถ้วยตวง หรือประมาณ 145 กรัม

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณสารอาหาร/ถ้วยตวง
แคลอรี	kcal	44.7
โปรตีน	g	0.9
คาร์โบไฮเดรต	g	10.5
วิตามิน เอ	mg	4.5
วิตามิน บี 6	IU	0.1
วิตามิน ซี	mg	84.5
เหล็ก	mg	0.6
แมงกานีส	mg	0.4
โพแทสเซียม	mg	247.3
ทองแดง	mg	0.1

ที่มา : สรจักร (2544)

ตลาดน้ำผลไม้พร้อมดื่มในปัจจุบัน มีมูลค่าตลาดรวม 8,000 ล้านบาท มีอัตราการเติบโตร้อยละ 20 แบ่งเป็น 3 ส่วนตลาด คือ ตลาดน้ำผลไม้ร้อยละ 100 (premium market) ตลาดน้ำผลไม้ร้อยละ 40 (medium market) และน้ำผลไม้ร้อยละ 5 – 25 (economy market) หรือตลาดส่วนล่าง ซึ่งการขยายตัวของน้ำผลไม้ในตลาดส่วนล่าง มีมูลค่าตลาด 3,000 ล้านบาท มีอัตราการเติบโต ร้อยละ 22 ซึ่งน้ำผลไม้ในตลาดส่วนล่างยังเป็นตลาดขนาดใหญ่และมีการเติบโตสูง รองจากตลาดน้ำผลไม้ร้อยละ 100 การทำตลาดจะมุ่งเน้นกลุ่มวัยรุ่น เน้นสีส้มของน้ำผลไม้ รวมถึงจุดขายเรื่องความสดชื่น (ประชาชาติธุรกิจ, 2551) เนื่องจากน้ำผลไม้ในตลาดล่างนี้ส่วนใหญ่จะดื่ม

สีสังเคราะห์เพื่อให้มีสีส้มสวยงาม แต่สีสังเคราะห์ที่เติมลงไปอาจไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเมื่อเทียบกับสีที่ได้จากธรรมชาติ

2.4 กระบวนการให้ความร้อนในการผลิตอาหาร

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1. การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization)

เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่สูง โดยอุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารให้นานหลายวัน เช่น นม น้ำผลไม้ วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้ โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และทำลายจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด (ปราณี, 2541) แบ่งได้ 2 วิธี

1. low temperature long time (LTLT) เป็นวิธีที่ให้ความร้อนต่ำประมาณ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีแล้วทำให้เย็นทันที
2. high temperature short time (HTST) เป็นวิธีที่ให้ความร้อนสูงประมาณ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นทันที

2.4.2 การใช้ความร้อนระดับสเตอริไลซ์ (sterilization)

เป็นการทำให้อาหารปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และทำลายจุลินทรีย์ หรือสปอร์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งสามารถที่จะเจริญเติบโตในอาหารได้ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาตามปกติ และไม่ต้องแช่เย็น โดยความร้อนในการสเตอริไลซ์จะสูงกว่าจุดเดือดคือ ประมาณ 100-130 องศาเซลเซียส วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น UHT (ultra high temperature) โดยจะใช้อุณหภูมิ 135-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-4 วินาที

2.5 กระบวนการผลิตน้ำผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท

การผลิตน้ำผลไม้ เป็นการแยกส่วนของเหลวในผลไม้ พร้อมกับสารประกอบที่ให้กลิ่นรส รวมทั้งสารอาหารที่ละลายได้ในของเหลวนั้นออกจากผลไม้ คุณภาพของน้ำผลไม้ที่ดีจะต้องมีลักษณะที่เหมือนผลไม้สด ทั้งในแง่ของกลิ่นรส สารอาหาร วิตามินและเกลือแร่ต่างๆ ที่ต้องยังคงเหมือนเดิมหรือมีความใกล้เคียง ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (ศรีศักดิ์, 2552) ดังนี้

1. ขั้นตอนการสกัดของเหลว

ขั้นตอนการสกัดของเหลวมีจุดประสงค์เพื่อแยกของเหลว รวมไปถึงสารละลายได้ที่มียู่ในผลไม้ น้ำผลไม้ที่สกัดใหม่ๆ ยังคงมีเอนไซม์แขวนลอยหลายชนิด ล้วนแล้วแต่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังนั้นในขั้นตอนการสกัดนี้จึงต้องเลือกวิธีที่ให้น้ำผลไม้ในปริมาณมากและมีองค์ประกอบของสารที่มีคุณค่าครบถ้วน ซึ่งวิธีการสกัดมี 2 วิธี คือ

1.1 วิธีทางกล (mechanical extraction) โดยใช้แรงไปทำให้เซลล์เนื้อผลไม้ฉีกขาดและให้ส่วนของน้ำผลไม้ไหลซึมออกมา พร้อมสารอาหาร กลิ่นและรส

1.2 วิธีทางชีวภาพ (biological extraction) ซึ่งจะใช้สารชีวภาพ เช่น เอนไซม์ไปย่อยสลายเซลล์เนื้อผลไม้ให้มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะปลดปล่อยของเหลวที่มีส่วนของสารอาหาร กลิ่นและรสของผลไม้ต่างๆ

2. ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพ

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพ เป็นการทำให้ผลไม้ที่สกัดได้ มีลักษณะคุณภาพตามความต้องการขึ้นกับชนิดของผลไม้ แบ่งออกเป็น การปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ อาทิเช่น การทำน้ำผลไม้ชนิดใส หรือการทำน้ำผลไม้แบบขุ่น และการปรับปรุงคุณภาพด้านรสชาติ เช่น รสเปรี้ยว รสหวาน และการเสริมรสหรือเน้นรสชาติน้ำผลไม้

3. ขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

การให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บของน้ำผลไม้ที่บรรจุในภาชนะบรรจุปิดสนิท สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

3.1 การให้ความร้อนก่อนบรรจุในภาชนะปิดสนิท สำหรับน้ำผลไม้ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 3.5 สามารถฆ่าเชื้อได้ที่อุณหภูมิ 70-72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที เรียกว่า ระบบพาสเจอร์ไรซ์แบบเร็ว อุณหภูมิสูง จากนั้นบรรจุในภาชนะสะอาด ขณะที่น้ำผลไม้ยังร้อนอยู่ อุณหภูมิการบรรจุประมาณ 60 องศาเซลเซียส แล้วให้ความเย็นทันที โดยน้ำเย็นต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส เพื่อหยุดปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ที่หลงเหลือจากกระบวนการให้ความร้อน ทั้งนี้ในขั้นตอนการบรรจุต้องทำด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ

3.2 การให้ความร้อนหลังการบรรจุในภาชนะปิดสนิท วิธีนี้นิยมใช้กับน้ำผลไม้ที่บรรจุในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ซึ่งจะบรรจุน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้ในกระป๋อง โดยเว้นช่องว่างเหนือกระป๋องตามสัดส่วนขนาดกระป๋อง จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการไล่อากาศ แล้วปิดฝากระป๋อง หลังจากนั้นจึงนำไปฆ่าเชื้อ ซึ่งระยะเวลาในการฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำผลไม้เหล่านั้นๆ เช่น ถ้าน้ำผลไม้ที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีค่า pH ต่ำกว่า 4.6 สามารถใช้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือดปกติ 100 องศาเซลเซียส ในการฆ่าเชื้อได้ แต่ถ้าน้ำผลไม้ที่มีสภาพเป็นกรดต่ำหรือมีค่า pH สูงกว่า 4.6 ต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิร้อนสูงถึง 116-121 องศาเซลเซียส ในการฆ่าเชื้อ

2.6 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปของวัตถุดิบจากสถานะของเหลวให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคหรือผงที่แห้ง โดยการฉีดพ่นวัตถุดิบเข้าไปในตัวกลางทำแห้ง (Masters, 1991)

วัตถุดิบที่นำเข้ามาทำแห้งแบบพ่นฝอยอาจเป็นได้ทั้งสารละลาย สารแขวนลอย อิมัลชัน หรือเพสต์ (paste) ตัวกลางในการทำแห้ง คือ อากาศร้อน ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นผง แกรนูลหรือแอกโกลเมอเรตก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ ลักษณะของเครื่องทำแห้งและกลไกการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกัน คือ การทำให้วัตถุดิบซึ่งเป็นของเหลวกลายเป็นละอองขนาดเล็ก การทำให้ละอองขนาดเล็กแห้งกลายเป็นผง และการแยกผงผลิตภัณฑ์กับอากาศออกจากกัน (Masters, 1991)

การทำให้ละอองขนาดเล็กแห้งเป็นผงเกิดขึ้นรวดเร็วมากทั้งนี้เพราะละอองอนุภาคเหล่านั้นมีขนาดเล็ก คือมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 10-300 ไมครอนเท่านั้น ทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการทำแห้งมากมาย และระยะทางที่ความชื้นจากภายในละอองอนุภาคต้องเคลื่อนที่มาที่ผิวน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้เวลาทำแห้งสั้นมากเพียง 1-20 วินาที ซึ่งสิ่งนี้เป็นลักษณะพิเศษของการทำแห้งแบบพ่นฝอย การที่มีพื้นที่ผิวสำหรับการทำแห้งมากจึงเกิดผลของ evaporation cooling นั่นคือ ในระหว่างการทำแห้งนั้น อุณหภูมิที่ผิวของละอองอนุภาคจะไม่สูงเกินอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ทำแห้ง และเนื่องจากมีการออกแบบการทำงานของเครื่องไว้อย่างดี การแยกผงผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศร้อนจึงทำได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ถูกความร้อนทำลายน้อย การทำแห้งแบบนี้จึงเหมาะสำหรับทำแห้งอาหารที่ถูกทำลายคุณภาพโดยความร้อนได้ง่าย

การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองและผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนตัวอย่างของเหลว (feed) ที่นำมาฉีด ควรมีลักษณะเหลว และไม่ข้นมาก จากนั้นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอย คือ atomizer ภายในห้องอบแห้ง เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศร้อนจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว และจะได้ผงของผลิตภัณฑ์ตกลงสู่ด้านล่างของห้องอบแห้ง ผงบางส่วนที่หลุดออกมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone ซึ่งจะรวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์รวมในที่สุด (สุเมธ, 2552)

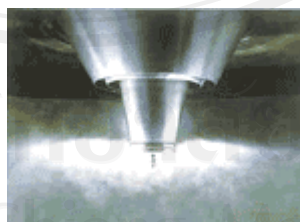
กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of feed)

กระบวนการนี้เป็นการทำให้ feed กระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้ atomizer ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมี 3 ชนิด คือ

1.1 rotary atomizer

atomizer ชนิดนี้ feed จะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที ดังภาพ 2.14 feed ที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120 ไมครอน ซึ่งขนาดเฉลี่ยนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ feed และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่าศูนย์กลางของจานหมุน



ภาพ 2.14 Rotary atomizer

ที่มา : สุเมธ (2552)

1.2 pressure nozzles atomizer

atomizer ชนิดนี้ feed จะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยไม่ต้องใช้อากาศ ดังภาพ 2.15 อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ feed และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน



ภาพ 2.15 Pressure nozzles atomizer

ที่มา : สุเมธ (2552)

1.3 two-fluid nozzle (pneumatic nozzle)

อุปกรณ์ชนิดนี้ feed และอากาศจะไหลผ่านหัวของ nozzle ซึ่งจะทำให้ feed แยกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายใน nozzle การปรับอัตราการไหลของอากาศ จะช่วยในการกระจายเป็นละอองของ feed วิธีนี้นิยมใช้กับ feed ที่มีความหนืดสูง อย่างไรก็ตามวิธีนี้ มีค่าดำเนินการที่สูงและให้ผลผลิตที่ต่ำ

2. การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ

ขั้นตอนนี้ ละอองของ feed ที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสหรือเข้าผสมกับอากาศอื่น และเมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของ atomizer กับอากาศแห้งๆ จะสามารถแบ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศอื่นได้ ดังภาพ 2.16

2.1 การไหลผ่านทางเดียวกัน (co-current flow)

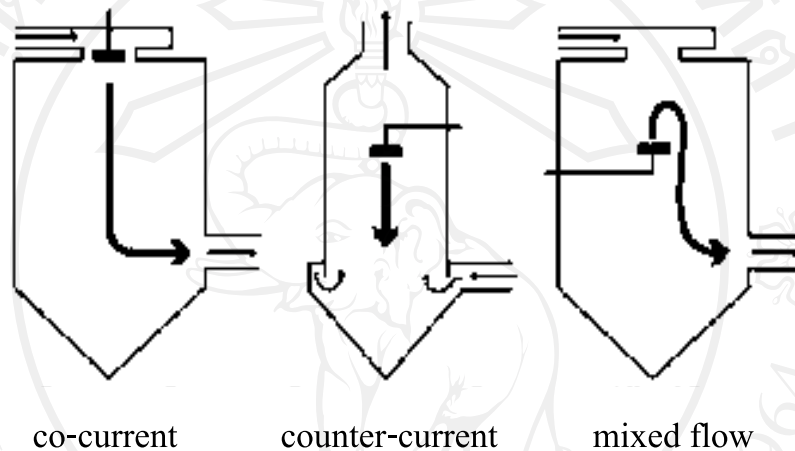
ทิศทางการฉีด feed เป็นทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศอื่น ละออง feed จะสัมผัสและผสมเข้ากับกับอากาศอื่นขณะที่ยังมีความชื้นสูงหรือมีน้ำภายในอนุภาคมามากอยู่ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้ระเหยทันทีจนกลายเป็นผง วิธีนี้เป็นวิธีการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยทั่วไป

2.2 การไหลผ่านสวนทางกัน (counter-current flow)

ทิศทางการฉีด feed เป็นทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของอากาศร้อน โดย feed จะถูกฉีดลงมาจากด้านบน ในขณะที่อากาศร้อนจะไหลขึ้นจากด้านล่าง ผลผลิตทันทีที่ได้จะมีความร้อนสูงมาก วิธีนี้จึงเหมาะเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อความร้อนสูงเท่านั้น

2.3 การไหลผ่านแบบผสม (mixed flow)

การไหลของ feed จะเคลื่อนที่ผ่านทั้งห้อง co-current และ counter-current วิธีนี้เหมาะสำหรับทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงหยาบ และทนความร้อนได้สูงมาก



ภาพ 2.16 การไหลของอากาศภายในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : สุเมธ (2552)

3. การระเหยของละอองฝอย

เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศแห้งร้อนจะเกิดการระเหยขึ้น ไออิมตัวบริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็วโดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวละอองที่อุณหภูมิระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้งจะแพร่สู่ผิวหน้าซึ่งอยู่ในสภาวะอิมตัว ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำไม่มีการแพร่สู่ผิวหน้า ทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา ช่วงนี้อัตราการระเหยจะลดลง

4. ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ cyclone เป็นตัวเก็บผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ cyclone ส่วนลมที่ออกจากด้านบนของ cyclone จะผ่านไปยังตัวเก็บขั้นสุดท้าย ทั้งนี้อาจเป็น wet scrubber หรือ bag filter หรือ electrostatic precipitator ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผงที่มีและประสิทธิภาพการนำกลับมา

ระบบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่

1. ระบบเปิด (open cycle system)

ระบบนี้ อากาศที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นอากาศจากบรรยากาศซึ่งจะถูกนำเข้ามาในระบบโดยผ่านตัวกรอง จากนั้นหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการโดยที่ในอากาศไม่มีผลิตภัณฑ์หลงเหลืออยู่แล้ว จึงถูกปล่อยกลับออกสู่บรรยากาศตามเดิม

2. ระบบปิด (closed cycle system)

ระบบนี้จะใช้ก๊าซ เช่น ไนโตรเจนในการหมุนเวียนอากาศภายในระบบ โดยที่ไม่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ระบบนี้มักใช้กับการทำแห้งสารละลายที่ติดไฟได้ สารมีพิษและสารที่มีความไวต่อออกซิเจน ซึ่งเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยทั่วไปเป็นระบบเปิด และมีการไหลของอากาศเป็นแบบทางเดียวกัน

การปรับเปลี่ยนตัวแปรทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ โดยตัวแปรเหล่านั้น คือ

1. ความหนืด ถ้า feed มีความหนืดสูง (หรือผลจากการลดลงของอุณหภูมิของ feed) ทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่สภาวะของ atomizer เดียวกัน ถ้ามีความหนืดมาก จะทำให้ มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย ดังนั้นจึงไม่ควรใส่ของเหลวที่มีความหนืดสูงเกินไป

2. อัตราการไหลของ feed โดยที่ถ้าอัตราการไหลของ feed สูงขึ้นทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น เพราะใช้เวลาสัมผัสกับอากาศน้อยเกินไป จึงควรควบคุมอัตราการไหลของ feed ให้เหมาะสม

3. อัตราไหลของอากาศที่ลดลงทำให้เวลาที่ละอองอยู่ใน drying chamber นานขึ้น ซึ่งจะสัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น และเป็นผลให้ลดความชื้นได้ดีขึ้น แต่หากอัตราการไหลของ feed สูง และอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไป และมีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพอ ก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง และเกาะติดอยู่กับผนังของ drying chamber ได้

4. อุณหภูมิอากาศขาเข้า การเพิ่มอุณหภูมิ อากาศขาเข้าทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการระเหย และทำให้ bulk density ลดลง เนื่องจากเกิดความพรุนและ มีการแตกหักของผลิตภัณฑ์

5. อุณหภูมิอากาศขาออก การปรับอัตราไหลของ feed มีผลต่ออุณหภูมิขาออก ถ้าอัตราการไหลของ feed สูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิขาออกลดลง และจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง จะเกาะอยู่บริเวณผนังของ drying chamber ได้

2.6.1 ประโยชน์ของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายชนิด ซึ่งตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์และผลิตภัณฑ์ แสดงดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 การนำไปใช้และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การนำไปใช้	เป้าหมาย	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
spray dry	ทำแห้งผลิตภัณฑ์อินทรีย์ และ อนินทรีย์	แป้งข้าวโพด นมผง
miconization	ลดขนาดอนุภาค	เกลือ สีข้อม
micro encapsulation	ทำให้อนุภาคของเหลวถูก ล้อมรอบด้วยแคปซูลของแข็ง	สารให้กลิ่นหอม กลิ่นผลไม้
englobing	ทำให้อนุภาคของแข็งล้อมรอบ ด้วยแคปซูลของแข็ง	แคโรทีนอยด์ ในเจลาติน

ที่มา : สุเมธ (2552)

2.7 มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin)

มอลโตเดกซ์ทรินเป็น โมเลกุลใหญ่ที่สามารถถูกเอนไซม์กลุ่มอะมิเลสย่อยแล้วได้น้ำตาล มอลโตส เช่น maltotriose, maltotetraose และ maltopentaose เป็นต้น การผลิตมอลโตเดกซ์ทรินนั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบชั้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอน (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543)

1. การผลิตแบบขั้นตอนเดียว

เป็นการย่อยแป้งโดยกรด (ที่อุณหภูมิมากกว่า 105 องศาเซลเซียส) หรือเอนไซม์อะมิเลส (ที่อุณหภูมิ 82-105 องศาเซลเซียส) แล้วหยุดปฏิกิริยาโดยปรับ pH หลังให้ความร้อน ทำการกรองกับสารช่วยกรอง ปรับกลิ่นสีโดยคาร์บอน (ผงถ่าน) แล้วกรองอีกครั้ง จากนั้นต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นแล้วทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. การผลิตแบบสองขั้นตอน

เริ่มต้นด้วยการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์อะมิเลสที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสและหยุดปฏิกิริยา โดยความร้อน 110-180 องศาเซลเซียส จะได้ขนาดของ DE (dextrose equivalent) 2-5 จากนั้นก็ใช้ เอนไซม์อะมิเลสอีกครั้งหนึ่ง (หรืออีกชนิดหนึ่ง) ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จนได้ DE 5-20 จึงหยุดปฏิกิริยาโดยการปรับ pH หรือความร้อน จากนั้นก็ทำการกรองกับสารช่วยกรอง ปรับกลินสี แล้วกรอง ต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นและทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ค่า DE ย่อมาจาก dextrose equivalent หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มี อยู่ในตัวอย่าง เมื่อใช้วิธีตรวจวัดโดยวิธีรีดักชัน (reduction) หรือหาจากสูตร ดังนี้

$$DE = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่วัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนัก(ของแข็ง)ของตัวอย่าง}}$$

ค่า DE แปรผกผันกับขนาดโมเลกุล ค่า DE ของ anhydrous D-glucose เท่ากับ 100 ในขณะที่ ค่า DE ของ native starch เท่ากับ 0

มอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้จากวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน ดูดความชื้นน้อย เพราะมีปริมาณโมโนแซคคาไรด์น้อย ได้มีการรายงานองค์ประกอบของ มอลโตเดกซ์ทริน DE 5 -19 แสดงดังตาราง 2.5 เมื่อผงมอลโตเดกซ์ทรินออกมาจะไหลลงอย่างอิสระไม่เกาะติดกัน มนุษย์สามารถรับประทานมอลโตเดกซ์ทรินอย่างปลอดภัย เพราะเอนไซม์ใน ลำไส้เล็กของมนุษย์จะย่อยมอลโตเดกซ์ทรินให้เป็น D-glucose เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรตทั่วไป มอลโตเดกซ์ทรินละลายน้ำได้ง่ายสามารถเตรียมเป็นสารละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ ความเข้มข้นสูง ร้อยละ 15-60 ความเข้มข้นสูงที่เตรียมได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของมอลโตเดกซ์ทริน สารละลายที่ได้จะใส มีความหนืดตั้งแต่ระดับปานกลางถึงต่ำมาก และเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลน้อย มอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE สูง จะมีความสามารถในการดูดความชื้น ความสามารถในการ เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ค่าการละลาย ความใสของสารละลาย และความหวานสูงกว่ามอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE ต่ำ แต่จะมีความหนืดต่ำกว่า

ตาราง 2.5 ปริมาณองค์ประกอบของมอลโตเดกซ์ทริน (คิดเทียบน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เทียบน้ำหนักแห้ง)
คาร์โบไฮเดรต (%)	มากกว่า 99
ความชื้น (%)	5-6
เถ้า (%)	0.10-0.50
โปรตีน (%)	0.05
ไขมัน (%)	0.01
เส้นใยอาหาร (%)	0.01
พีเอช (pH)	4.5
คลอไรด์ (ppm)	1500
โซเดียม (ppm)	750
แคลเซียม (ppm)	200
แมกนีเซียม (ppm)	100
ฟอสฟอรัส (ppm)	50
โพแทสเซียม (ppm)	50
ซัลไฟด์ (ppm)	น้อยกว่า 5
เหล็ก (ppm)	น้อยกว่า 1
สังกะสี (ppm)	น้อยกว่า 1
แมงกานีส (ppm)	น้อยกว่า 1

ที่มา : Macrae *et al.* (1993)

มอลโตเดกซ์ทรินเป็น filler ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติที่ดีทั้งด้านการละลายและกระจายตัวในน้ำได้ดีช่วยทำให้ไขมันกระจายตัว คุณความชื้นน้อย รักษากลิ่นรสอาหารได้ดี และมีการไหลอย่างอิสระไม่เกาะติดกัน

การเติมมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น จะช่วยลดความชื้นของตัวอย่างในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่ง Dattanand *et al.* (2007) กล่าวว่า การเติมมอลโตเดกซ์ทริน กัมอะราบิก และแป้งคัดแปรรวมกัน ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น จะทำให้ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอมากกว่าการเติมสารเพียงชนิดเดียว และการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำแดงโม

(Quek *et al.*, 2007) พบว่า การเติมมอลโตเดกซ์ทริน ร้อยละ 5 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าการเติมมอลโตเดกซ์ทริน ร้อยละ 3 และยังให้ปริมาณผลผลิตที่ได้มากกว่าด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมมอลโตเดกซ์ทรินมากกว่า ร้อยละ 10 จะทำให้ความเข้มข้นของสีน้ำตาลโมลลดลง Jarunee (2007) ทำการศึกษาคุณลักษณะของบีตาแคโรทีนหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า การเติมมอลโตเดกซ์ทรินลงในผลิตภัณฑ์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับการเติมแป้งมันสำปะหลัง แต่การกระจายตัวของอนุภาคจะสม่ำเสมอกว่า มีความชื้นต่ำและสามารถละลายได้ในน้ำเย็นได้ดีกว่าแป้งมันสำปะหลัง

2.8 กัมอะราบิก (Gum arabic)

กัมอะราบิก เป็นสารประกอบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ที่นิยมใช้กันแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมอาหาร (วารสารสถาบันอาหาร, 2552) กัมอะราบิกมาจากน้ำยางธรรมชาติที่ไหลออกมาจากผิวเปลือกของลำต้นของพืชในกลุ่มอากาเซีย (acacia) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง acacia senegal น้ำยางจะไหลเกาะกันเป็นก้อน เมื่อกระทบความร้อนจากแสงแดดจะแห้งแข็งตัวใสคล้ายแก้วเกาะอยู่ตามกิ่งก้านและลำต้นของพืช มีสีน้ำตาลแตกต่างกันไปตั้งแต่ขาวใสจนถึงเหลืองอำพัน รูปทรงมองคล้ายหยดน้ำบ้าง ทรงกลมรีบ้าง ไปจนถึงมีเหลี่ยมมุมบ้างตามธรรมชาติ น้ำยางในกลุ่มพืชอากาเซียมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งชนิดที่ให้น้ำยางมีคุณภาพดีที่สุดคือ อากาเซียเซเนกัล (acacia senegal) ที่เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ตอนกลางของประเทศซูดานในทวีปแอฟริกา จึงมีชื่อเรียกขานและเป็นที่ยอมรับกันเป็นอย่างดีในเชิงพาณิชย์ว่า กัมอะราบิก (gum arabic) และกัมอากาเซีย (acacia gum) หรือกัมซูดาน (sudan gum) อันสืบเนื่องมาจากการจัดขนส่งทางเรือที่ทำเรือในกลุ่มประเทศอาหรับ

2.8.1 คุณสมบัติของกัมอะราบิก

กัมอะราบิกเป็นสารประกอบจากธรรมชาติที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่มีรส และที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อร่างกายและมลภาวะ ซึ่งได้ผ่านการรับรองระบบมาตรฐานของอาหารโลก และได้รับกำหนดในตำรับ GRAS (Generally Recognized as Safe) และมาตรฐานของ United State pharmacopia, Food Chemical Codex และ EU Number E414 รวมทั้งผ่านการรับรองจากสำนักคณะกรรมการอาหารและยาประเทศไทย ในแง่โภชนาการยอมรับว่ากัมอะราบิกถูกย่อยได้ดีอย่างมากในระบบการย่อยของร่างกายมนุษย์ จึงเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้พลังงานต่ำ หรือปราศจากน้ำตาลได้เป็นอย่างดี (วารสารสถาบันอาหาร, 2552)

กัมมะราบิกและมอลโตเดคซ์ตริน มักนิยมใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผลไม้ เนื่องจากช่วยลดความชื้นให้แก่ผลิตภัณฑ์และสามารถละลายน้ำได้ดี ซึ่งการศึกษาสภาพการทำแห้งของน้ำมะม่วงแบบพ่นฝอย (Milton *et al.*, 2005) พบว่า การเติมกัมมะราบิก ร้อยละ 12 ร่วมกับการเติมเซลลูโลส ร้อยละ 9 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอมากกว่า การเติมมอลโตเดคซ์ตริน ร้อยละ 12 ร่วมกับการเติมเซลลูโลส ร้อยละ 9 ซึ่งการเติมกัมมะราบิกเพิ่มขึ้นนั้นจะมีผลทำให้รูปร่างของผลิตภัณฑ์มีขนาดสม่ำเสมอและมีผิวเรียบเนียน

2.8.1.1 การละลายของกัมมะราบิก

กัมมะราบิก สามารถละลายได้ดีในน้ำทั้งอุณหภูมิปกติ น้ำร้อน หรือน้ำเย็นได้ง่าย เพียงนำมาผสมในน้ำ และกวนหรือคนจนละลาย กัมมะราบิกสามารถละลายได้ดีที่ความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ซึ่งค่อนข้างละลายได้ยากและละลายได้ไม่กินความเข้มข้นที่ ร้อยละ 5 เท่านั้น

2.8.1.2 พฤติกรรมการไหลและความหนืด

สารละลายกัมมะราบิกจะให้ความหนืดต่ำเมื่อวัดความหนืดได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นสูงกว่าร้อยละ 40 จะให้ความหนืดสูงมากจนมีลักษณะข้นหนืดคล้ายเจล และความหนืดของกัมมะราบิกนี้จะคงอยู่ได้ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ช่วงกว้างคือ 4-10 พฤติกรรมการไหลที่เข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 40 ลงไป จะเป็นการไหลแบบ newtonian ซึ่งไม่พบในสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น แต่ในขณะเดียวกันถ้าความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป จะเป็นการไหลแบบ pseudoplastic ซึ่งพบว่ามีผลต่อความรู้สึกรับรสสัมผัสภายในปาก (mouthfeel sensation) คือ ทำให้ไม่เกิดการระคายเคืองหรือมีสิ่งตกค้างภายในปาก ไม่รู้สึกกระด้าง เหตุนี้จึงนิยมนำกัมมะราบิกมาใช้เป็นสารแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำเพื่อเสริมสุขภาพ

2.8.1.3 คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายเออร์

กัมมะราบิกมีประสิทธิภาพสูงในการทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เนื่องจากโครงสร้างที่มีส่วนที่เป็นกรดอะมิโนสามารถดูดซับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้อย่างดีและแข็งแรง ช่วยป้องกันการรวมตัวกันของหยดเล็กเป็นหยดใหญ่ (coalesce in emulsion) และในส่วนโครงสร้างที่เป็น arabinogalactan จะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนที่เป็นน้ำ จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมมากในการผลิตอิมัลชันของน้ำมันกลั่นเพื่อให้ในการแต่งกลิ่น ซึ่งใช้ได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลิ่นส้ม

2.8.2 ประโยชน์ของกัมอาระบิก

ด้านอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม เกสซ์ภัณฑ์และอื่นๆ

ลูกอมลูกกวาด ช่วยป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ ทำให้ส่วนผสมที่เป็นไขมันและส่วนที่เป็นของเหลวกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ และป้องกันการเคลื่อนของไขมันที่ออกมาที่ผิวหน้าไม่ให้เกิดความเหนียวเหนอะเมื่อจับลูกอม และช่วยไม่ให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย นอกจากนี้แล้วในผลิตภัณฑ์ลูกอมลูกกวาดที่ให้พลังงานต่ำหรือแม้แต่ไม่มีการใช้น้ำตาลซูโครส (sugarless candies) เลย ยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมในลูกอมแบบเคี้ยวที่มีเจลาติน โดยใช้เป็นส่วนประกอบหลักผสมกับกัมอะราบิกจะช่วยปรับปรุงลักษณะการเกาะติดได้ดีขึ้น ลดความยืดหยุ่นเหนียวคล้ายยางลงได้ อีกทั้งช่วยไม่ให้น้ำตาลตกผลึกทำให้น้ำตาลผสมลูกอมนุ่มเนียนไม่ระคายลิ้น

เครื่องดื่ม กัมอะราบิกจะให้ความคงตัวของฟองเบียร์ที่นุ่มและละเอียดได้ดีมากโดยไม่กระทบต่อสมบัติด้านความใส รสชาติ และอายุการเก็บรักษาโดยการผสมในขั้นตอนการ aging ในด้านเครื่องดื่มน้ำผลไม้ กัมอะราบิกจะทำหน้าที่เป็น clouding agent ทำให้เกิดความขุ่นคล้ายกับว่ามีเนื้อผลไม้มากขึ้น ใช้ได้ดีอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในรูปแบบที่เป็นเครื่องดื่มแบบเหลวและแบบผง

ขนมอบ จากคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดีให้ความชื้นเหนียวและการเกาะติดที่ดีเยี่ยม จึงเป็นเคลือบส่วนผสมในการทำขนมอบทั้งหลายและยังใช้เป็นตัวเคลือบผิวหน้าให้เกิดความมันวาวได้ดีอีกด้วย การใช้กัมอะราบิกจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้นช่วยให้เกิดการอบที่ดี เนื้อเรียบเนียนและลดการเกิดฟองอากาศทำให้น้ำผสมกันได้ดียิ่งขึ้น และยังใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพไขมันต่ำให้พลังงานต่ำได้ดีอีกด้วย และจากคุณสมบัติที่ช่วยกักเก็บน้ำได้ดีของกัมอะราบิก ทำให้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บอันเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำหรือการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้อย่างดี และทำให้น้ำเชื่อมแต่งหน้าคงตัวอยู่รูปทรงได้นานขึ้น ทั้งยังรักษากลิ่นรสไว้ได้นานยิ่งขึ้นอีกด้วย

ผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรส ในการผลิตสารให้กลิ่นรส (encapsulated flavor) พบว่ากัมอะราบิกใช้ได้ดีที่สุดในการทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว ทำให้เกิดอิมัลชันได้ง่ายและเกิดการกระจายตัวได้ดี เมื่อหุ้มอยู่ที่ผิวหน้าของหยดไขมันแล้วจะมีประจุอยู่โดยรอบที่สำคัญเป็นประจุชนิดเดียวกันจึงทำให้เกิดการผลักกันอยู่ตลอดเวลา ช่วยป้องกันหยดไขมันเข้ามารวมตัวกันทำให้

อิมัลชันคงตัวอยู่ได้นาน (stable after emulsion) และเมื่อผ่านการพ่นฝอยแล้ว กัมอะราบิกยังให้คุณสมบัติที่เป็นฟิล์มหุ้มอยู่โดยรอบ และมีการเกาะติดสูง ทำให้เกิดการห่อหุ้มเอาส่วนที่เป็นสารให้กลิ่นรสไว้ได้สูงมาก และลดการระเหยของสารให้กลิ่นรส ไม่มีผลกระทบต่อความหนืดและกลิ่นรส รวมทั้งสีส้มของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ จากคุณสมบัติของกัมอะราบิกที่ให้พลังงานต่ำและให้กากใยอาหารสูง ทั้งยังละลายได้ดี จึงนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อลดพลังงานได้อย่างดีเยี่ยม นอกจากนี้ยังช่วยอุ้มน้ำและให้เนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มคล้ายกับเนื้อสัมผัสครีมหรือไขมัน จึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ทดแทนไขมัน เนยเหลวหรือมาการีนทั้งหมด นอกเหนือจากนี้ยังมีรายงานการทดลองรับรองวิจัยจากต่างประเทศมาแล้วว่า การบริโภคกัมอะราบิกเป็นประจำจะช่วยให้ร่างกายมีความสามารถและประสิทธิภาพในการจับถ่ายของเสียได้ดี ซึ่งช่วยได้มากในผู้ป่วยโรคไต (overworked kidneys) ทั้งยังสามารถช่วยลดโคเลสเตอรอลได้ดีอีกด้วย

ผลิตภัณฑ์เภสัชภัณฑ์ วิตามินและเครื่องสำอาง กัมอะราบิกเป็นที่รู้จักดีว่าใช้เป็นส่วนผสมกันมานานแล้วในด้านเภสัชภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพวกยาน้ำเชื่อมแก้ไอ ฟิล์มแคปซูล ยาอัดเม็ด นอกจากนี้ยังใช้ได้ดีในการทำเครื่องสำอางประเภทครีมและโลชั่น

ผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ จากคุณสมบัติที่ดีเด่นและหลากหลายด้านของกัมอะราบิก ทำให้เราสามารถนำกัมอะราบิกไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ดีเช่นกันอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลือบเงา การทำกระจก กัมอะราบิกช่วยให้เกิดฟิล์มห่อหุ้มเคลือบเงาที่มีคุณภาพดี มีความสม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มสูง เรียบเนียน ทั้งยังช่วยจับเกาะยึดติด ส่วนผสมตัวอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี มีประสิทธิภาพเมื่อผ่านขั้นตอนการอบแห้งและการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเยี่ยมยอด นอกจากนี้ยังสามารถนำกัมอะราบิกไปใช้ในอุตสาหกรรมการเคลือบกระดาษ เส้นใย ไยผ้า ผืนผ้าสำเร็จ เครื่องปั้นดินเผา ผลิตภัณฑ์กาว สี และพลาสติกได้อีกด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วส่วนใหญ่กัมอะราบิกจะเป็นที่รู้จักกันดีและแพร่หลายว่านำมาใช้ผลิตเลนส์ถ่ายรูปคุณภาพสูง และยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำหมึกสีในฟิล์มถ่ายรูปความไวแสงสูงที่ให้คุณภาพดีเยี่ยมอีกด้วย

2.9 วิธีการประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ (เพ็ญขวัญ, 2550)

2.9.1 การแบ่งตามประเภทความแตกต่าง

การแบ่งตามประเภทความแตกต่าง เป็นการแบ่งความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ประเมินสามารถรับรู้ได้ โดยแบ่งเป็น

- ความแตกต่างโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งไม่มีลักษณะเฉพาะที่ชี้ชัด ตัวอย่างวิธีการประเมินเช่น วิธีการเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่าง (triangle test) วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่กับตัวอย่างอ้างอิง (duo-trio test) และวิธีการเลือกสองตัวอย่างจากห้าตัวอย่าง (two-out-of-five test) เป็นต้น

- ความแตกต่างตามลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งจะประเมินความแตกต่างในลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างวิธีการประเมิน เช่น วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่แบบมีทิศทางและวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม เป็นต้น

2.9.2 การแบ่งตามจำนวนผลิตภัณฑ์

การแบ่งตามจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ อาจแบ่งเป็น

- การประเมินความแตกต่างของ 2 ผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างวิธีการประเมิน เช่น วิธีการเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่าง วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่กับตัวอย่างอ้างอิง วิธีการเลือกสองตัวอย่างจากห้าตัวอย่าง วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่อย่างง่าย เป็นต้น

- การประเมินความแตกต่างของ 3 ผลิตภัณฑ์หรือมากกว่า ตัวอย่างวิธีการประเมิน เช่น วิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม วิธีการให้คะแนนตามความเข้มของลักษณะที่กำหนดและวิธีการเรียงลำดับความเข้มของลักษณะที่กำหนด เป็นต้น

2.9.3 การแบ่งตามการตัดสินใจของผู้ประเมิน

การแบ่งตามการตัดสินใจของผู้ประเมินจะขึ้นอยู่กับแบบรายงานผลการประเมิน ซึ่งอาจแบ่งเป็น

- วิธีการประเมินที่ปล่อยให้ผู้ประเมินตัดสินใจโดยอิสระ เช่น วิธีการเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่าง วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่กับตัวอย่างอ้างอิง วิธีการเลือกสองตัวอย่างจากห้าตัวอย่าง

- วิธีการประเมินที่บังคับให้ผู้ประเมินตัดสินใจ เช่น วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่แบบมีทิศทาง วิธีการให้คะแนนตามความเข้มของลักษณะที่กำหนดและวิธีการเรียงลำดับความเข้มของลักษณะที่กำหนด

2.10 ผู้ประเมินความแตกต่าง

การประเมินความแตกต่างเป็นวิธีการที่ค่อนข้างง่าย และมีแบบรายงานผลการประเมินชัดเจน เพราะฉะนั้นผู้ประเมินความแตกต่างอาจเป็นผู้บริโภครั่วไป หรือบุคคลที่เคยทำการประเมินมาก่อน หรือผู้ที่ผ่านการฝึกฝนมาอย่างดีก็ได้ อย่างไรก็ตามบุคคลที่ผ่านการฝึกฝนมาอย่างดี จะมีความไวต่อความแตกต่างของผลิตภัณฑ์มากกว่าบุคคลกลุ่มอื่น ๆ รวมถึงมีความเหนียวแน่นกว่าว่ากลุ่มผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมาน้อยหรือไม่เคยผ่านการฝึกฝนมาเลย จึงเหมาะสำหรับทำการประเมินผลิตภัณฑ์หลายตัวอย่างหรือใช้วิธีการประเมินที่ค่อนข้างยุ่งยาก

แต่หากต้องการเลือกให้ผู้บริโภครั่วไปเป็นผู้ประเมินความแตกต่าง จะต้องใช้ผู้ประเมินเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้ผลการประเมินที่น่าเชื่อถือ ซึ่งมักไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก เนื่องจากจะมีค่าใช้จ่ายในการรวบรวมคนค่อนข้างมาก โดยทั่วไปแล้วหากผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมาอย่างดีไม่สามารถบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบได้ ก็พอจะอนุมานได้ว่า ผู้ประเมินที่ไม่ได้รับการฝึกฝนหรือผู้บริโภครั่วไปจะไม่สามารถบอกความแตกต่างได้เช่นกัน

2.11 การประเมินความแตกต่างโดยรวมของผลิตภัณฑ์

การประเมินความแตกต่างโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยวิธีการประเมินที่นิยมทั้งหมด 5 วิธี ได้แก่

1. วิธีการเลือกตัวอย่างสี่จากสามตัวอย่าง
2. วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่กับตัวอย่างอ้างอิง
3. วิธีการเลือกสองจากห้าตัวอย่าง
4. วิธีการประเมินแบบ “A” ไม่ใช่ “A”
5. วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่อย่างง่าย

นักพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถนำวิธีการประเมินความแตกต่างโดยรวมไปประยุกต์ใช้ในงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้หลายขั้นตอน เช่น การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในส่วนการเปลี่ยนแปลงส่วนผสม การปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การศึกษาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และโดยเฉพาะเมื่อผลิตภัณฑ์ไม่มีลักษณะเฉพาะที่ชี้ชัดได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการประเมินดังกล่าวในการคัดเลือกและคัดกรองผู้ประเมินสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาและใช้เพื่อตรวจสอบความสามารถของผู้ประเมินได้อีกด้วย

ผู้ประเมินที่ใช้ในการประเมินความแตกต่างโดยรวม ควรผ่านการคัดเลือกเบื้องต้นมาแล้ว ก่อนการประเมินควรมีการอบรมชี้แจงเพื่อให้ผู้ประเมินที่เหมาะสม คือ 20-40 คน ซึ่งบางครั้งอาจ น้อยกว่า ถ้าตัวอย่างมีความแตกต่างกันมาก และอาจใช้จำนวนมากกว่า หากตัวอย่างมีความแตกต่าง กันน้อย ๆ

2.11.1 การประมวลผลการประเมินความแตกต่างโดยรวม อาจทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การวิเคราะห์แบบ binomial เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบทางเดียว (one-tailed test) โดยมี สมมุติฐานหลัก (H_0) คือ ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน หากจำนวนคำตอบที่ถูกต้องมากกว่าหรือ เท่ากับตัวเลขจากตารางสำเร็จรูปเฉพาะแต่ละวิธีการ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ซึ่งสามารถ สรุปได้ว่า ผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างกัน การประมวลผลวิธีนี้ใช้ตารางสำเร็จรูปเป็นเครื่องมือสำคัญ เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และประหยัดเวลา

2. การวิเคราะห์แบบไค์สแควร์ (χ^2) เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบสองทาง (two-tailed test) โดยมีสมมุติฐานหลัก (H_0) คือ จำนวนคำตอบที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องไม่มีความแตกต่างกัน (ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน)

กรณีที่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก คือ χ^2 ที่คำนวณได้มากกว่า χ^2 ที่ได้จากตาราง แสดงว่า ตัวอย่างมีความแตกต่างกัน

ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบค่าทางประสาธสัมพันธ์โดยวิธีการเลือกตัวอย่างที่จากสาม ตัวอย่าง ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียด ดังนี้

การประเมินความแตกต่างด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่างมีวัตถุประสงค์ เพื่อหา ความแตกต่างโดยรวมของ 2 ผลลัพธ์ โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่สามารถบอกความแตกต่างได้จาก ลักษณะเฉพาะของผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจน

วิธีการเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่างเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพทางสถิติ เนื่องจาก ผู้ประเมินมีโอกาสในการเดาเพียง 1 ใน 3 ($p=1/3$) อย่างไรก็ตามผู้ประเมินอาจเกิดความล่าในการ ประเมิน หากต้องทำการประเมินหลายรอบและอาจเกิดความสับสน ในเรื่ององค์ประกอบของความ แตกต่าง รวมถึงผลการประเมินมักไม่บอกทิศทางและขนาดของความแตกต่างที่แท้จริง จึงควรใช้ วิธีการนี้ในกรณีที่ผลลัพธ์มีความแตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัดในทุก ๆ ลักษณะของผลลัพธ์

2.12 สารให้สี

สีของอาหารเป็นปัจจัยแรกที่กระทบประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและยอมรับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ การเติมสีลงไปในการผลิตอาหาร เพื่อดึงดูดความสนใจ หรือกลบเกลื่อนลักษณะของอาหารที่เสื่อมสภาพให้คล้ายกับสีของอาหารตามธรรมชาติ รวมทั้งการแต่งสีเพื่อให้ดูคล้ายอาหารที่มีคุณภาพสูง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552)

วัตถุประสงค์การใช้สีผสมอาหาร คือ

1. เพื่อใช้แต่งสีของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีสี เช่น ลูกกวาด เยลลี่ แยม และเครื่องดื่ม
2. เพื่อใช้แต่งสีของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งอาจสูญเสีย หรือเปลี่ยนไปมากระหว่างกระบวนการผลิต หรือการเก็บรักษา
3. เพื่อเติมสีผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่จดจำและมีลักษณะที่ดีที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

คุณสมบัติของสีผสมอาหาร คือ

1. ไม่ทำให้คุณสมบัติของอาหารเกิดเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่ดี
2. มีความคงตัวในอาหาร
3. ไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์
4. ง่ายต่อการใช้งาน
5. ราคาถูก
6. ให้ความเข้มของสีสูง

สีผสมอาหาร โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. สีสังเคราะห์ หมายถึง สีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมีลักษณะถูกต้องตามข้อกำหนดและความปลอดภัยของผู้บริโภค

ชนิดของสีสังเคราะห์ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหาร ได้ปริมาณไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่ออาหารใน

ลักษณะที่ใช้บริโภค 1 กิโลกรัม คือ

ประเภทสีแดง ได้แก่

- เออริโทรซีน(Erythrosine)
- คาร์โมอีซินหรือเอโซรูบิน(Carmoisine or Azorubine)

ประเภทสีเหลือง ได้แก่

- คาร์ตราซีน(Tartrazine)
- ซันเซต เยลโลว์ เอฟซีเอฟ(Sunset yellow FCF)

ประเภทสีเขียว ได้แก่

- ฟาสต์กรีน เอฟซีเอฟ(Fast green FCF)

ประเภทสีน้ำเงิน ได้แก่

- อินดิโกคาร์มีน หรืออินดิโกทีน (Indigocarmine or indigotine)

1.2 ชนิดของสีสังเคราะห์ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ปริมาณไม่เกิน 50 มิลลิกรัม

ต่ออาหารในลักษณะที่ใช้บริโภค 1 กิโลกรัม คือ

ประเภทสีแดง ได้แก่

- ปองโซ 4 อาร์ (Ponceau-4 R)

ประเภทสีน้ำเงิน ได้แก่

- บริลเลียนต์บลู เอฟซีเอฟ (Brilliant blue FCF)

2. สีธรรมชาติ หมายถึง สีที่ได้จากการสกัดวัตถุดิบธรรมชาติผ่านการพิจารณาในเรื่องส่วนประกอบ กรรมวิธีการผลิต ความบริสุทธิ์ และอื่น ๆ จนแน่ใจว่าปลอดภัยต่อการบริโภค

สีธรรมชาติ ที่สกัดจากพืช ผัก ผลไม้ และสัตว์ ได้แก่

- สีแดง ได้แก่ ครั่ง ต้นทองกวาว ข้าวแดง มะเขือเทศ กระจับปี่ หัวบีต ดอกเข็ม และพริกแดง
- สีเหลือง ได้แก่ ขมิ้นชัน ดอกโสน ฟักทอง ลูกตาลยี และดอกคำฝอย
- สีม่วง ได้แก่ ดอกอัญชัน ข้าวเหนียวดำ และถั่วดำ
- สีเขียว ได้แก่ ใบเตย ใบย่านาง พริกเขียว และใบคะน้า
- สีน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลไหม้
- สีน้ำเงิน ได้แก่ ดอกอัญชัน
- สีดำ ได้แก่ ถ่านกาบมะพร้าว และถั่วดำ

เมื่อนำสีสังเคราะห์และสีธรรมชาติมาเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าสีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังตาราง 2.6

ตาราง 2.6 การเปรียบเทียบการใช้สีสังเคราะห์และสีธรรมชาติ

สีสังเคราะห์	สีธรรมชาติ
- ราคาถูก	- ราคาแพง
- สีสด คงตัวและมีความสม่ำเสมอ	- สีไม่คงตัว
ให้สีในช่วงกว้าง	- ให้สีในช่วงแคบ
- มีขายทางการค้าหลายรูปแบบ ทั้งรูปแบบผง สีผสมในรูปผง และสารละลาย	- ไม่ค่อยมีขายทางการค้า
- เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค	-ปลอดภัยต่อผู้บริโภค
- มีข้อกำหนดทางด้านกฎหมาย ในการใช้งาน	- ไม่มีข้อกำหนดทางด้านกฎหมาย ในการใช้งาน

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2552)

2.12.1 ความเสถียรของสารให้สี

ความเสถียรของสารให้สีมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงสภาวะการเก็บรักษา การอยู่บนชั้นขายของผู้ค้าปลีกและการนำไปใช้ของผู้บริโภค เนื่องจากสีเป็นปัจจัยแรกที่กระทบประสาทสัมผัสของผู้บริโภคและเป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ถ้าสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสลายตัวได้ (Bolivar and Luis, 2004 ; ทิพวดี และคณะ, 2550)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสารให้สี มีดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งผลิตภัณฑ์จะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ค่า pH ออกซิเจน และแสง สามารถกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของสารให้สีได้
2. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ วิธีการเตรียมอาหารก่อนการแปรรูปและกระบวนการผลิตอาหาร อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการสลายตัวของสารให้สีได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

การศึกษาความเสถียรของสารให้สี พบว่า สภาวะที่ส่งผลกระทบต่อความเสถียรของสี คือ ค่า pH อุณหภูมิ และแสง (Bolivar and Luis, 2004) ซึ่งการศึกษาความเสถียรของบีตานิน ในน้ำ หัวบีต พบว่า น้ำหัวบีตที่ pH 5.0 และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีครึ่งชีวิตของบีตานิน เท่ากับ 14.5 นาที และครึ่งชีวิตจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1150 นาที และยังพบว่า อากาศและแสงมีผลกระทบต่อความเสถียรของน้ำหัวบีต ซึ่งทั้งสองสภาวะจะลดครึ่งชีวิตของ บีตานินได้ ร้อยละ 28.6 ส่วนมากอาหารที่ให้สีจะมีความเสถียรที่ pH ระหว่าง 4.0-7.0 และอุณหภูมิ ต่ำจะทำให้สีน้ำหัวบีตมีความคงตัวมากขึ้น (Von Elbe *et al.*, 1974)

The logo of Chiang Mai University is a circular emblem. In the center is a stylized elephant standing and facing left. Above the elephant's head is a traditional Thai oil lamp (diya) with a flame. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the university's name in Thai script at the top and 'CHIANG MAI UNIVERSITY 1964' in English at the bottom. There are decorative floral motifs on either side of the elephant.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved