

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะเกี๋ยง (Makiang)



ภาพที่ 2.1 มะเกี๋ยง (puechkaset.com., 2019)

มะเกี๋ยงเป็นพืชในอันดับ *Myrtales* จัดอยู่ในวงศ์ *Myrtaceae* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cleistocalyx nervosum* var. *paniala* ชื่อวิทยาศาสตร์เดิมของมะเกี๋ยงคือ *Eugenia paniala* Roxb. ซึ่งเป็นชื่อที่ใช้กันมาตั้งแต่ พ.ศ. 2375 จากการศึกษาทบทวนพรรณไม้ในสกุล *Eugenia* และ *Cleistocalyx* ใน พ.ศ.2536 โดย ดร.ประนอม จันทรโนทัย ได้เสนอให้จัดพืช *Eugenia paniala* Roxb. มารวมอยู่ในสกุล *Cleistocalyx* และ *operculatus* เช่นเดียวกับต้นหว้าขาว (หว้าน้ำหรือหว้าส้ม) โดยได้จำแนกออกเป็นสองชนิดพันธุ์ คือ *Cleistocalyx operculatus* var. *paniala* ต่อมาในปี พ.ศ. 2539 ได้มีการศึกษาทบทวนพืชในวงศ์ *Myrtaceae* ใหม่อีกครั้งหนึ่งและ ได้เสนอให้เปลี่ยนชื่อวิทยาศาสตร์ของหว้าขาวและ มะเกี๋ยงเป็น *Cleistocalyx nervosum* โดยจำแนกออกเป็นสองพันธุ์ คือ *Cleistocalyx nervosum* var. *nervosum* (หว้าขาว) และ *Cleistocalyx nervosum* var. *Paniala* (มะเกี๋ยง)

ความแตกต่างระหว่างพืชสองชนิดพันธุ์นี้อยู่ที่การจัดเรียงหรือจำนวนของดอกในช่อดอกย่อย ขนาดของฐานดอกรูปถ้วย (hypantium) รวมทั้งขนาดและรูปร่างของผล โดยที่มะเกี๋ยงมักมีดอกจำนวน 3 ดอก ติดอยู่รวมกันเป็นกลุ่มช่อดอกย่อย มีฐานดอกรูปถ้วยขนาดใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร ผลรูปไข่ขอบขนาน (oval-oblong) และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผลมากกว่า 1.5 เซนติเมตร ส่วนหว่าขาวมักมีจำนวนดอกในแต่ละช่อดอกย่อยมากกว่า 4 ดอก ฐานดอกรูปถ้วยมีขนาดเล็กกว่า 4 มิลลิเมตร ผลรูปกลม (globose) และเส้นผ่าศูนย์กลางผลน้อยกว่า 1.5 เซนติเมตร ความแตกต่างระหว่างหว่าและมะเกี๋ยง พืชทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะแตกต่างกันหลายประการ ลักษณะความแตกต่างระหว่างใบหว่าและใบมะเกี๋ยง คือ ใบหว่ามีสีเขียวเข้มเรียบมัน ก้านใบสีเขียวอ่อน ใบมะเกี๋ยงมีสีเขียวจาง เห็นเส้นใบชัดเจน ก้านใบสีม่วงแดง ใบมะเกี๋ยงเมื่อยังอ่อน มีสีเขียวอมเหลือง ก้านใบค่อนข้างสันสีแดงสด เมื่อขยี้ดมกลิ่น จะมีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยที่เป็นกลิ่นเฉพาะตัว ผลหว่ามีขนาดใหญ่ สีม่วงเกือบดำ รสไม่เปรี้ยวมาก สุกแก่ในเดือนพฤษภาคม ต่างจากผลมะเกี๋ยงที่มีขนาดเล็ก มีสีม่วงแดง และมีรสเปรี้ยว สุกแก่ในเดือนสิงหาคม

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะลำต้นมะเกี๋ยง มะเกี๋ยงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูงประมาณ 15- 20 เมตร เปลือกลำต้นมีเทาถึงสีน้ำตาลปนเทา มีลักษณะเรียบหรือแตกเป็นร่องตื้นตามแนวยาว เนื้อไม้มีสีขาวนวลถึงเหลืองอ่อน มีความแข็งปานกลาง เรือนยอดเป็นพุ่มทรงกระบอกถึงค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่มประมาณ 8-15 เมตร ผิวกิ่งอ่อนมีสีเขียวถึงสีเขียวปนน้ำตาล กิ่งแก่มีสีเขียวปนเทา รูปทรงกระบอก

ลักษณะดอกมะเกี๋ยง มะเกี๋ยงจะออกดอกเป็นช่อ ลักษณะเป็นช่อกระจุก กว้าง 6-12 เซนติเมตร ยาว 8-14 เซนติเมตร ก้านช่อดอกเรียบสีเขียวเข้มยาว 2-5 เซนติเมตร ก้านแขนงมีดอก 3 ดอก ดอกมะเกี๋ยงเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ลักษณะสมมาตรไม่มีก้านดอกหรือก้านดอกสั้นมาก ดอกตูมรูปร่างคล้ายบัลลูน กว้าง 3.7-5.3 มิลลิเมตร ยาว 6.0-8.2 มิลลิเมตร กลีบดอกมี 4 กลีบ มีสีขาวถึงเหลืองอ่อน มีเกสรตัวผู้ 150-340 อัน เกสรตัวเมียมี 1 อัน รังไข่อยู่ใต้วงกลีบเลี้ยง ภายในรังไข่แบ่ง ออกเป็น 2 ช่อง ภายในแต่ละช่องมีออวูล (Ovule) 1-30 อัน ติดอยู่รอบแกนกลาง

ลักษณะเมล็ดมะเกี๋ยง เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปไข่หรือกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 มิลลิเมตร ภายในเมล็ดมีหลายเอ็มบริโอ (Polyembryony) เรียงตามขวางของเมล็ด เปลือกสีน้ำตาลอ่อน ภายในเมล็ดสีเขียว สามารถงอกเป็นต้นอ่อนได้ตั้งแต่ระยะที่ผลมีอายุ 56 วัน และจะมีความงอกสูงที่สุดในระยะที่ผลสุกแก่จัด (สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, 2545)

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของผลมะเกี๋ยง

ผลมะเกี๋ยงนิยมนำมาบริโภคทั้งในรูปผลสด และผลิตภัณฑ์แปรรูป ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลมะเกี๋ยง โดยกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ และชีวเคมี กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยใช้ตัวอย่างผลมะเกี๋ยงสด จำนวน 37 ตัวอย่าง ที่ออกผลในช่วงเดือน กรกฎาคมถึงสิงหาคม มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก แร่ธาตุ วิตามิน และกรดอะมิโน ได้ผลดังตารางที่ 2.1 – 2.5

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบพื้นฐานในผลมะเกี๋ยง

องค์ประกอบ	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	86.7±3.29	-
โปรตีน (ร้อยละ)	0.89±0.22	6.64±1.29
ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	0.31±0.10	2.41±0.73
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	0.61±0.19	4.57±0.72
ปริมาณกาก (ร้อยละ)	3.52±1.20	26.32±4.01
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	7.95±2.05	59.91±4.84
ค่าพลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	38.19±8.95	279.58±37.66
น้ำตาลอินเวิร์ต (ร้อยละ)	1.94±1.34	13.92±6.81

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2539)

ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยแร่ธาตุและโลหะหนักในผลมะเกี๋ยง (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)

ปริมาณแร่ธาตุและโลหะหนัก	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
แคลเซียม	55.19 ±28.26	408.60 ±153.5
แมกนีเซียม	11.80 ±4.87	87.32±23.66
เหล็ก	0.47 ±0.32	3.50 ± 1.93
สังกะสี	0.28 ±0.16	2.38 ±1.84
ตะกั่ว	0.24 ±0.20	2.38 ±1.84

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2539)

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยของวิตามินในผลมะเกี๋ยง

ปริมาณวิตามิน	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
วิตามินเอ(เบต้า-แคโรทีน)(IU/100g)	625.36±526.43	4574.73±3708.25
วิตามินบี2(μG/100g)	95.89±48.41	717.30±280.16
วิตามินบี1(μG/100g)	47.66±24.39	357.44±154.81
วิตามินอี(IU/100g)	0.9±0.0	5.85±1.28

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2539)

ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายในผลมะเกี๋ยง (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)

ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
ไอโซลูซีน	26.32±7.76	198.86±31.93
ลูซีน	55.10± 15.98	416.95±67.71
ไลซีน	46.79±13.35	354.74±60.42
เมธไอโอนีน	8.93±2.51	67.99±12.69
ซีสตีน์	14.29±5.25	109.37±18.12
ฟีนิลอะลานีน	67.18±131.42	494.44±155.31
ไทโรซีน	14.66±4.49	108.13±27.80
ทรีโอนีน	31.51±9.16	275.50±105.48
ทรีปโตเฟน	9.01±2.27	70.12±17.05
วาลีน	35.37±10.13	267.17±40.19
ฮิสติดีน	16.65±5.14	125.51±21.18

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2539)

ตารางที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยของกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายในผลมะเกี๋ยง (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)

ปริมาณกรดอะมิโน ที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
กรดแอสปาร์ติก	65.46±19.35	495.72±85.62
ซีรีน	39.08±11.3	296.10±46.79
กรดกลูตามิก	87.62±25.13	665.95±130.20
โพรลีน	31.95±10.37	243.64±52.46
ไกลซีน	36.62±10.61	277.21±45.06
อะลานีน	43.55±12.58	328.62±51.04
ไทโรซีน	14.65±4.48	108.13±27.80
อาร์จินีน	31.18±11.57	239.15±52.85

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2539)

ผลทางเภสัชวิทยาพบว่า ผลมะเกี๋ยงมีแอนโธไซยานินซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก จากการศึกษาทางการแพทย์ได้ใช้สารประเภทนี้เป็นยาป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน เนื่องจากช่วยในการกระตุ้นการเพิ่มระดับ High Density Lipoprotein (HDL) ในกระแสเลือด ซึ่ง HDL ทำหน้าที่ทำลายไขมันที่เกาะตามผนังหลอดเลือด ช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน เปลือกของมะเกี๋ยงยังพบสารกลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenol) ซึ่งเป็นสารกลุ่มเดียวกับที่พบในเปลือกและเมล็ดองุ่น ทำหน้าที่จับกับสารกระตุ้นการเกิดมะเร็งที่เป็นอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งได้ (สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, 2545)

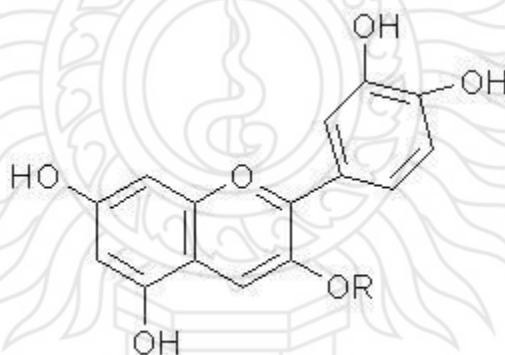
2.1.3 การใช้ประโยชน์จากผลมะเกี๋ยงในด้านผลิตภัณฑ์อาหาร

มะเกี๋ยงสามารถทำผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่น น้ำมะเกี๋ยงพร้อมดื่ม ไวน์มะเกี๋ยง มะเกี๋ยงแช่อิ่มแห้ง ชามะเกี๋ยง แยมมะเกี๋ยง เยลลี่มะเกี๋ยง มะเกี๋ยงหยีโยเกิร์ตมะเกี๋ยง มะเกี๋ยงดองสามรสและ สีสผสมอาหารจากผลมะเกี๋ยง นอกจากนี้ยังพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะเกี๋ยงพร้อมดื่มเพื่อให้มีสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยการเสริมสารจากเมล็ดมะเกี๋ยงเข้าไปด้วย (สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, 2545)

2.2 แอนโธไซยานิน (Anthocyanin)

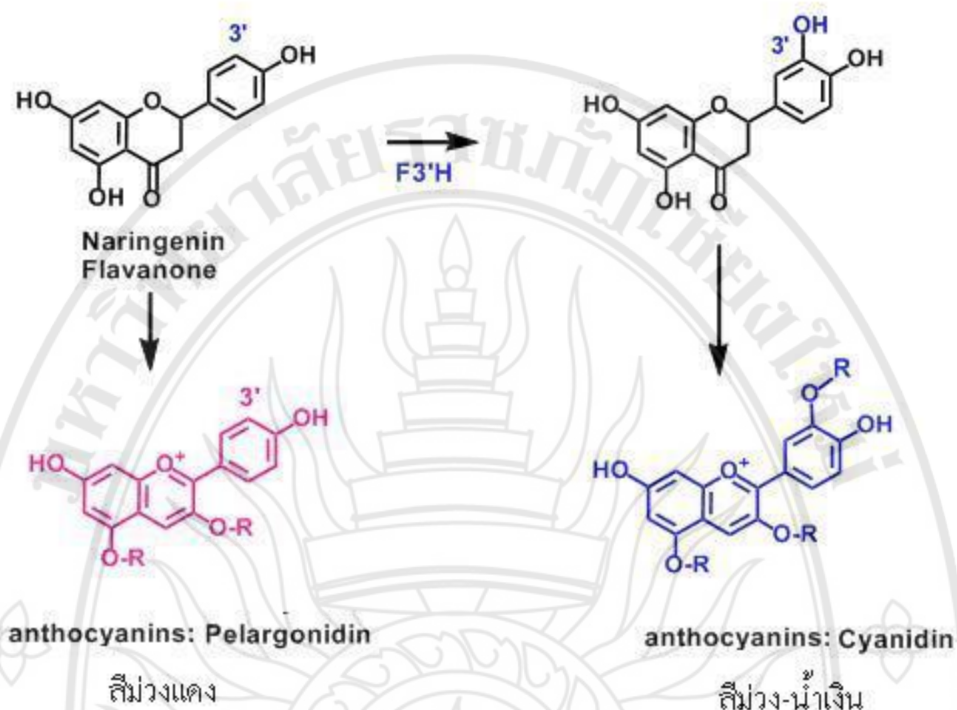
แอนโธไซยานิน เป็นรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงิน ใช้เป็นสารให้สี (coloring agent) ธรรมชาติในอาหาร สารสกัดแอนโธไซยานินมีสมบัติเป็นโภชนเภสัช (nutraceutical) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง ด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) อีโคไล (Escherichia coli) ในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงและอาหารเป็นพิษด้วย

อาหารที่เป็นแหล่งสำคัญของแอนโธไซยานิน ได้แก่ ผลไม้ เช่น องุ่น ทับทิม และผลไม้ในกลุ่มเบอร์รี่ เช่น สตรอว์เบอร์รี่ (strawberry) ผลหม่อน (mulberry) บลูเบอร์รี่ (blueberry) แครนเบอร์รี่ (cranberry) เชอร์รี่ (cherry) ราสเบอร์รี่ (raspberry) เป็นต้น ผัก เช่น กะหล่ำปลีสีม่วง (red cabbage) และเรดิชสีแดง (red radish) เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวกล้อง หรือข้าวสาลี ข้าวโพดสีม่วง พืชหัว ได้แก่ มันเทศสีม่วง ดอกไม้ เช่น กระเจี๊ยบแดงและ ดอกอัญชัน เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของแอนโธไซยานิน (พิมพ์เพ็ญและ นิธิยา, 2562)

สีของแอนโธไซยานิน เป็นสารสีที่พบได้ทั่วไปในดอกไม้ ผลไม้บางชนิด ใบหรือลำต้นของพืชบางชนิดที่มีสีตั้งแต่สีแดงถึงน้ำเงินเข้ม ในสภาพที่เป็นกรดมีค่า pH ต่ำกว่า 3 (เป็นกรดสูง) จะทำให้แอนโธไซยานินมีสีแดง ในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกลาง หรือมีค่า pH ประมาณ 7-8 แอนโธไซยานินจะมีสีม่วง และเมื่อสภาพเป็นเบสหรือมีค่า pH มากกว่า 11 (เป็นเบสสูง) แอนโธไซยานินจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน



ภาพที่ 2.3 สีของแอนโธไซยานิน (พิมพ์เพ็ญและ นิธิยา, 2562)

ประโยชน์ต่อสุขภาพของแอนโธไซยานิน แอนโธไซยานินมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการจัดเป็น functional food เพราะสารนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิด โรค หลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคมะเร็ง (Lazze et al., 2004)

จากการศึกษาผลมะเงี้ยวสุกของทวีพร (2530) พบว่า ในผลมะเงี้ยวสุกมีกรดอินทรีย์ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ กรดซิตริกและกรดมาลิกในปริมาณร้อยละ 1.69 และ 0.17 ตามลำดับ ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ ที่ละลายใน น้ำได้ พบอยู่ในส่วนเนื้อของผลมะเงี้ยวสุก จึงทำให้ผลมะเงี้ยวสุกมีรสเปรี้ยวและค่าความ เป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำ และสารสีแดงที่พบในเปลือกผลมะเงี้ยวสุก เป็นสารประเภทแอนโธไซยานิน ซึ่งพบอยู่ 2 ชนิดคือ Cyanidin-3-glucoside และ Cyanidin-3,5-diglucoside เมื่อผลมะเงี้ยวเริ่มสุก จะมีการเปลี่ยนแปลง จากสีเขียวเป็นสีแดงจนถึงสีแดงปนม่วง สารสีที่เกิดขึ้นนี้เรียก แอนโธไซยานิน ส่วนใหญ่ละลายได้ในน้ำ แต่ไม่ละลายในอะซิโตน (Acetone) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) และ จะเป็นสารสีชมพู สีแดง สีม่วง สี ม่วงแดง และสีน้ำเงิน พบได้ทั่วไปในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ กลีบ ดอก ผล และลำต้น เป็นต้น สีของ สารแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง คือสภาวะที่เป็นกรด จะมีสีแดง

สภาวะที่เป็น กลางจะมีสีม่วง และสภาวะที่เป็นต่างจะเป็นสีน้ำเงิน สารแอนโทไซยานินเป็นอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นสารที่เรียกว่า ไกลโคไซด์ (Glycosides) เมื่อสลายตัวในน้ำจะได้น้ำตาลและส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลเรียก แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidin) อนุพันธ์ของแอนโทไซยานินมีมากกว่า 140 ชนิด และเกิดขึ้นตามธรรมชาติของพืช (ศิวาพร 2539) แอนโทไซยานินในเซลล์ของพืชหรือในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชนั้นจะไม่ค่อยเสถียร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ความร้อน สภาพความเป็นกรด-เบส เอนไซม์เพอร์ออกไซด์ วิตาามิน ซีลเฟอร์ไดออกไซด์ ไอออนของโลหะ และสารอื่นๆ ดังนั้นในระหว่างกระบวนการแปรรูป การถนอมอาหารและการเก็บรักษา จะมีผลทำให้โครงสร้างของสารแอนโทไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการแปรรูป มีดังนี้

สภาพความเป็นกรด-ต่าง ในสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ต่าง แอนโทไซยานินจะมีสีแดงสด แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ต่างเพิ่มสูงขึ้นแต่ยังไม่เกิน 8.5 สีของ สารแอนโทไซยานินจะเป็นสีม่วงและเมื่อค่าความเป็นกรด-ต่าง เป็น 11 แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งดังตารางที่ 2.7 และในกระบวนการแปรรูปอาหารจึงควรจะมีระดับค่าความเป็นกรด-ต่างของสภาพแวดล้อมในขณะผลิตด้วย ส่วนค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงที่สารแอนโทไซยานินสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุด จะมีการ แปรผันตามกับค่า pH ด้วย เมื่อค่าความเป็นกรด-ต่าง มีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ช่วงค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.6 สีของแอนโทไซยานิน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ต่าง

pH	สีของแอนโทไซยานิน
1.0	สีแดง
4.0	สีน้ำเงิน
6.0	สีม่วง
8.0	สีน้ำเงิน
12.0	สีเขียว
13.0	สีเหลือง

ที่มา: จงรักษ์ และคณะ (2545)

ตารางที่ 2.7 ช่วงค่าการดูดกลืนแสงของแอนโธไซยานิน

pH	ช่วงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	สีของแอนโธไซยานิน
4	520 นาโนเมตร	สีแดง
4-6	525 - 550 นาโนเมตร	สีม่วง ถึงม่วงปนน้ำเงิน
6.5	570 - 575 นาโนเมตร	สีน้ำเงิน
9	590 - 600 นาโนเมตร	สีน้ำเงิน

ที่มา: นัยวิทย์ (2538)

อุณหภูมิ การเก็บผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่มีแอนโธไซยานินไว้ที่อุณหภูมิสูง จะทำให้มีสีแดงของแอนโธไซยานินคล้ำลงอย่างรวดเร็ว เกิดจากการที่แอนโธไซยานินถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ Polyphenol oxidase ทำให้เกิดเป็นสีคล้ำได้ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความเสถียรของแอนโธไซยานินในอาหารจะลดลง เช่น Cyanidin 3-glucoside และ Cyaniding 3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอ่อน (pH 1-4) ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน

ออกซิเจนและกรดแอสคาร์บิก ออกซิเจนสามารถสร้างผลกระทบต่อสารแอนโธไซยานิน จึงควรเก็บรักษาสารแอนโธไซยานิน ภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือสภาวะบรรยากาศที่มีไนโตรเจน จะทำให้สารแอนโธไซยานินคงตัวกว่าสภาวะที่มีออกซิเจน เพราะออกซิเจนนั้นจะทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์กับสารแอนโธไซยานิน ทำให้ปริมาณสารแอนโธไซยานินลดลง และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาสารแอนโธไซยานินต้องไม่มีช่องว่างอากาศ เพื่อยืดอายุของสารแอนโธไซยานิน

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เข้าทำปฏิกิริยากับสารแอนโธไซยานิน จะทำให้เกิดสารใหม่ที่มีสี

การปนเปื้อนอนุมูลโลหะ แอนโธไซยานินสามารถเข้าร่วมตัวกับอนุมูลโลหะบางชนิด เช่น ดีบุก และเหล็ก เป็นต้น เมื่อรวมตัวกันแล้ว จะทำให้สีของแอนโธไซยานินเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนเทา ในการหุงต้มผักผลไม้ที่มีแอนโธไซยานินสูง จึงไม่ควรใช้อุปกรณ์ที่ทำด้วยโลหะดังกล่าว และไม่ควรบรรจุลงกระป๋องที่เคลือบด้วยดีบุก ควรบรรจุลงกระป๋องที่เคลือบด้วยแลคเกอร์ เพราะกรดอินทรีย์ที่มีในผลไม้จะทำปฏิกิริยากับดีบุกที่เคลือบกระป๋อง ทำให้เกิดการกัดกร่อนและเข้าจับตัวกับแอนโธไซยานิน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระป๋องสีคล้ำ (สินธนา, 2535)

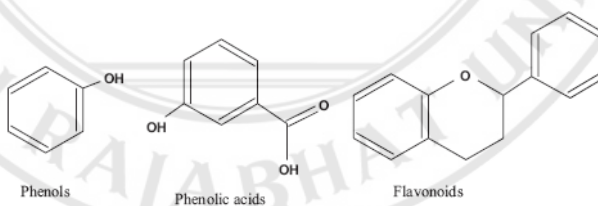
ผลของการแปรรูปอาหารต่อแอนโธไซยานิน แอนโธไซยานินละลายได้ดีในน้ำ ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน แสง เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป สีจะเปลี่ยนไปด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อสีของแอนโธไซยานิน ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง เมื่อ pH เป็นกรดจะมีสีแดง เมื่อ pH สูงขึ้น จะเปลี่ยนเป็นสี

น้ำเงิน การแปรรูปผักผลไม้ที่มีแอนโธไซยานินด้วยความร้อน (thermal processing) ด้วยการบรรจุกระป๋อง (canning) โดยใช้กระป๋องโลหะ (can) ที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (tin plate) อลูมิเนียมโลหะจะปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ (organic acid) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในผักหรือผลไม้ หรือกรดที่เติมไปเพื่อปรับให้อาหารเป็นกรด (acidification) ได้เป็นเกลือของโลหะ หลังจากนั้นแอนโธไซยานิน จะรวมตัวกับโลหะไอออนที่ได้ให้เกิดเป็นกรด และเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง กัดกร่อนจนกระทั่งดีบุกที่เคลือบกระป๋องหมดไป ต่อจากนั้นแอนโธไซยานินจะไปทำปฏิกิริยากับเหล็กที่เป็นตัวกระป๋องทำให้เกิดการรั่วแบบรูเข็ม (pin holing) ซึ่งเป็นสาเหตุของอาหารกระป๋องเสื่อมเสีย (canned food spoilage) กระป๋องที่จะใช้บรรจุผักและผลไม้ที่มีแอนโธไซยานินอยู่ด้วย จึงควรเคลือบด้วยสารเคลือบ เช่น แล็กเกอร์เพื่อป้องกันปฏิกิริยาดังกล่าว หรืออาจจะใช้ร่วมกับ chelating agent เพื่อจับกับโลหะ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

2.3 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผักผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอล มีโภชนเภสัช ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ

โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล สารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่



Structures of common phenolic compounds.

ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล

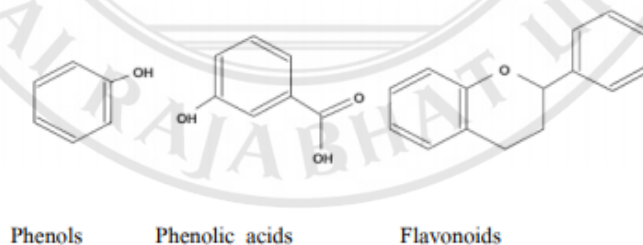
สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

สารประกอบฟีนอล พบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) ในส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ถั่วเมล็ดแห้ง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว และ งา ผลไม้ ได้แก่ องุ่น ส้ม กระเทียม เครื่องเทศ เช่น พริกไทย พริก ขิง กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่ พืชเครื่องดื่ม ได้แก่ ชา โกโก้ พืชหัว ได้แก่ มันเทศ

สรรพคุณของสารประกอบฟีนอล

1. ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (anti-mutagens) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาถูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย

2. ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)



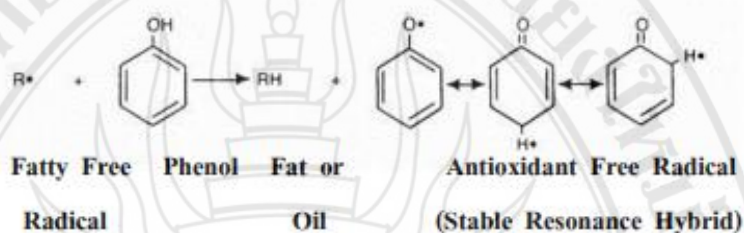
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไป

สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิกไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือสารประกอบพวกลาโนอยด์ สารประกอบฟีนอลที่พบในพืช มักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือจะเป็นสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์และเทอร์ปีนอยด์ เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

2.4 อนุมูลอิสระ (Free radicle)

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลที่ไม่เสถียรและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีผลต่อการทำลายโมเลกุลอื่นๆ ต่อเนื่องกันไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระจึงเป็นสารพิษต่อเซลล์ของร่างกาย ถ้ามีมากก็เป็นอันตรายได้โดยจะทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์และอื่นๆ ในระยะสั้นอนุมูลอิสระมีผลต่อการอักเสบ และการทำลายเนื้อเยื่อ ในระยะยาวมีผลต่อความเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์ ปัจจุบันผลการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่า อนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อหลายชนิด โดยเฉพาะโรคมะเร็งซึ่งเป็นสาเหตุแห่งการเสียชีวิตอันดับต้นๆ ของคนไทยและคนทั่วโลก อนุมูลอิสระถูกสร้างขึ้นมาทั้งจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายเองและในภาวะที่ผิดปกติเช่น ภาวะของโรคหรือภาวะที่ร่างกายแวดล้อมด้วยมลพิษโดยในภาวะที่ผิดปกติจะส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสมของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจำเป็นที่ร่างกายต้องหาทางป้องกันการโดนทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านั้น สิ่งที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อปกป้องตัวเอง ก็คือระบบแอนติออกซิแดนซ์ซึ่งประกอบไปด้วยสารหรือเอนไซม์ต่างๆ ที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ ก็สามารถจะชะลอหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร (substrate) ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยสารเหล่านี้จะรวมถึงสารเกือบทุกชนิดในร่างกาย เช่น โปรตีน ไขมันคาร์โบไฮเดรตดีเอ็นเอแต่อย่างไรก็ตามมีบางภาวะที่ปริมาณอนุมูลอิสระมีมากเกินไปกว่าที่ระบบแอนติออกซิแดนซ์จะจัดการได้ จะเกิดภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตเช่นการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและเกิดการทำลายของกลุ่มโมเลกุลที่มีพันธะ S-H และเยื่อหุ้มเซลล์ ก่อให้เกิดผลเสียต่อเซลล์และการทำลายเซลล์ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (aging) และรุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ เช่น เส้นเลือดตีบโรคเกี่ยวกับชราภาพภูมิคุ้มกัน (autoimmune disease) โรคที่เกิดจากการที่เลือดกลับไปเลี้ยงอวัยวะที่เคยมีการตีบตันของเส้นเลือดในระยะสั้นๆ มาก่อน รวมไปถึงโรคมะเร็งเป็นต้น

สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ออกอนุมูลอิสระก่อตัวขึ้น โดยจะทำการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระและ หยุดการก่อตัวใหม่ของอนุมูลอิสระ ช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระที่ไปทำลายเซลล์ต่างๆ ในร่างกายรวมทั้งช่วยกำจัดและ แทนที่โมเลกุลที่ถูกทำลาย (เนตรนภา และเฉลิม , 2557)



ภาพที่ 2.6 กลไกการต้านออกซิเดชันของสารจำพวกฟีนอลิก (เนตรนภา และเฉลิม , 2557)

2.5 สีผสมอาหาร (Food coloring)

สีของอาหารเป็นลักษณะแรกที่ได้รับทางสัมผัส ซึ่งผู้บริโภคใช้ในการเลือก และยอมรับอาหาร นั้น ๆ โดยอาหารเกือบทุกชนิดตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีที่ยอมรับโดยผู้บริโภคแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสังคม ภูมิศาสตร์ความชอบของ สวยงาม และพื้นฐานของผู้บริโภค ซึ่งการยอมรับสีของอาหารแตกต่างกันขึ้นกับเชื้อชาตินอกจากนี้ยังพบว่าสีของอาหารที่แปลกจะมีอิทธิพลต่อผู้บริโภคน้อยกว่าการเปลี่ยนสีไปจากที่ควรจะเป็น

สีผสมอาหารเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่ง ซึ่งผู้ผลิตอาหารใช้ผสมลง ไปในอาหารเพื่อปรุงแต่งอาหารนั้น ให้แลดูสวยงามหรือกลบเกลื่อนลักษณะอาหาร ที่เสื่อมสภาพให้คล้ายสีของอาหารตามธรรมชาติรวมทั้งการแต่งสีเพื่อช่วยให้ดูคล้ายอาหารที่มีคุณภาพสูง เช่น อาหารที่ใช้ไขเป็นส่วนผสมปรากฏว่าในการผลิตจริงใช้ไขเพียงเล็กน้อยหรือไม่ได้ใส่เลยแต่ใช้สีเหลืองผสมลงไปให้เป็นสีของไข

สีผสมอาหาร หมายถึง วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ที่ผสมในอาหารโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้มีสีเป็นที่ดึงดูดใจผู้บริโภค ได้แก่ ลูกอม ลูกกวาด ไอศกรีม เยลลี่ นมปรุงแต่ง น้ำเชื่อม เครื่องดื่มวิสกี้
2. เพื่อแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งอาจสูญเสียหรือเปลี่ยนไปมากในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารหรือการเก็บรักษาอาหาร ได้แก่ แยม น้ำผลไม้ อาหารกระป๋อง อาหารแห้ง เบียร์

3. เพื่อแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีธรรมชาติแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศ เช่น การใช้สีผสมอาหารแต่งสีไขมันนม ซึ่งปกติก็มีสีแตกต่างกันมาก ขึ้นกับฤดูกาล เนื่องจากไขมันนมที่ได้จากน้ำนมในฤดูร้อนมักมีสีเหลืองเข้มกว่าน้ำนมในฤดูหนาว เนื่องมาจากปริมาณบีตา-แคโรทีน (beta-carotene) ในหญ้าที่วัวบริโภคในฤดูร้อนมากกว่าในฤดูหนาว ดังนั้นเพื่อให้อาหารที่ผลิตออกมามีสีคงที่ตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ เพื่อมิให้ผู้ซื้อเกิดความเข้าใจผิดในเรื่องคุณภาพของอาหารที่ผลิตขึ้นมา

สมบัติของสีผสมอาหาร คือ ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและไม่ก่อให้เกิดอันตรายในอาหาร (food hazard) ไม่ทำให้สมบัติของอาหารเปลี่ยนไปในทางที่เลวลง ให้ความเข้มของสีสูง มีความคงตัวในอาหาร ไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหารและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ใช้เติมลงในผลิตภัณฑ์ได้ง่าย มีราคาเหมาะสม

ประเภทของสีผสมอาหาร โดยทั่วไป อาจแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ

1. สีธรรมชาติ ได้แก่ สีที่ได้จากการสกัดจากวัตถุดิบธรรมชาติ ซึ่งมีรงควัตถุเป็นส่วนประกอบของเซลล์พืช หรือสัตว์ เช่น

- แอนโธไซยานิน (anthocyanin) เป็นรงควัตถุที่พบมากในดอกอัญชัน องุ่น กระเจี๊ยบแดง เป็นต้น เป็นสีที่สามารถละลายได้ในน้ำ มีสีแดงที่มีความเป็นกรด-เบสต่ำและ เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อความเป็นกรด-เบสสูง

- แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองจนถึงแดง ละลายได้ในไขมัน พบมากในมะเขือเทศและ แครอท เป็นต้น สีในกลุ่มนี้ที่นิยมใช้ในสีผสมอาหาร ได้แก่ บีตา-แคโรทีน, บีตา-อะโป-8-แคโรทีแนล และแคนทาแซนทิน สีในกลุ่มนี้จะค่อนข้างคงตัว

- คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่มีสีเขียว พบในพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของใบ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ได้รับความร้อน

- คาราเมล (caramel) เป็นรงควัตถุที่มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ละลายในน้ำได้ดี

2. สีสังเคราะห์ หมายถึง สีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมีลักษณะถูกต้องตามข้อกำหนด และ ปลอดภัยต่อการบริโภค สีสังเคราะห์มีราคาถูกกว่า ให้สีสดสม่ำเสมอกว่า และให้สีในช่วงที่กว้างกว่า นอกจากนี้ยังมีขายทั้งในรูปแม่สี และสีผสมในรูปผง สารละลาย และสารละลายแขวนลอย ซึ่งสะดวกต่อการเลือกใช้กับอาหารชนิดต่างๆ ดังนั้น ผู้ใช้จึงนิยมใช้สีสังเคราะห์มากกว่าสีธรรมชาติ ถึงแม้ว่าสีธรรมชาติจะปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากกว่าก็ตาม (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

ตารางที่ 2.8 ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่อง การใช้สัสมอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 551 (พ.ศ. 2524) ลงวันที่ 11 มกราคม 2525 การใช้สัสมอาหารให้ใช้ตามเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

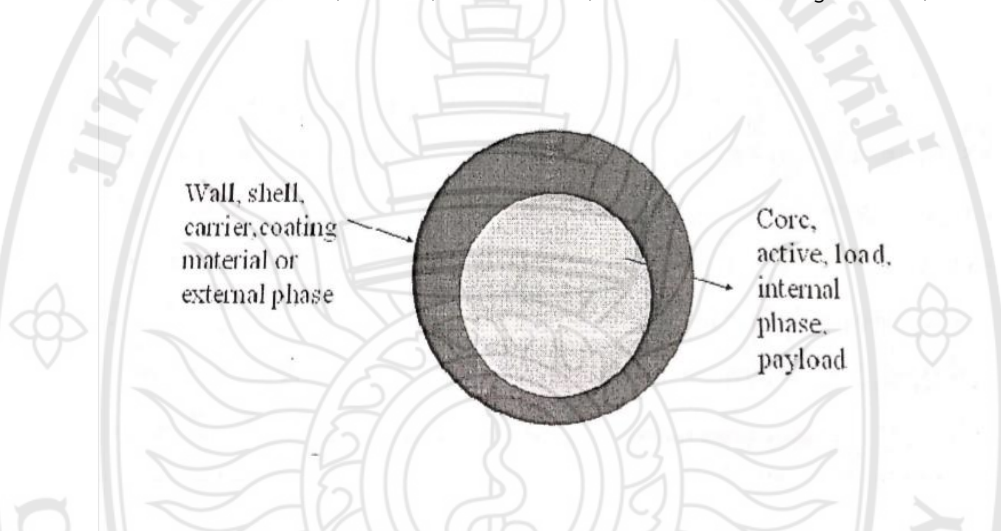
1	อาหารทารก	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
2	นมดัดแปลงสำหรับทารก	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
3	อาหารเสริมสำหรับเด็ก	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
4	ผลไม้สด ผลไม้ดอง	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
5	ผักดอง	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
6	เนื้อสัตว์สดทุกชนิด	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด เว้นแต่ผงขมิ้น หรือผงกะหรี่สำหรับไก่เท่านั้น
7	เนื้อสัตว์ทุกชนิดที่ปรุงแต่งและทำให้มีรสเค็มหรือหวาน เช่น ปลาเค็ม กุ้งเค็ม เนื้อเค็ม หอยเค็ม ปลาหวาน ฯลฯ	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
8	เนื้อสัตว์ทุกชนิดที่ปรุงแต่ง รสคั่วหรือทำให้แห้ง เช่น ปลาแห้ง กุ้งแห้ง หอยแห้ง	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
9	เนื้อสัตว์ทุกชนิดที่ย่าง อบ นึ่ง หรือทอด เช่น ไก่ หมู เนื้อ ย่าง อบ นึ่ง หรือทอด	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด เว้นแต่ใช้สัสมที่ได้จากธรรมชาติ
10	แฮม	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
11	กุนเชียง ไส้กรอก	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
12	ลูกชิ้น หมูยอ	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
13	ทอดมัน	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
14	กะปิ	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
15	ข้าวเกรียบ เช่น ข้าวเกรียบกุ้ง ข้าวเกรียบปลา หรือข้าวเกรียบ ในรูปลักษณะต่างๆ ฯลฯ	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด
16	บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เส้นบะหมี่ แผ่นเกี๊ยว หมี่ซั่ว สปาเก็ตตี้ และมักะโรนี	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด เว้นแต่สัสมที่ได้จากธรรมชาติ
17	น้ำพริกแกง	ไม่ให้ใช้สัสมทุกชนิด เว้นแต่สัสมที่ได้จากธรรมชาติ

ที่มา: ราชกิจจานุเบกษา. ฉบับพิเศษ เล่มที่ 99 ตอนที่ 27 25 กุมภาพันธ์ 2525, หน้า 25-28

2.6 กระบวนการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)

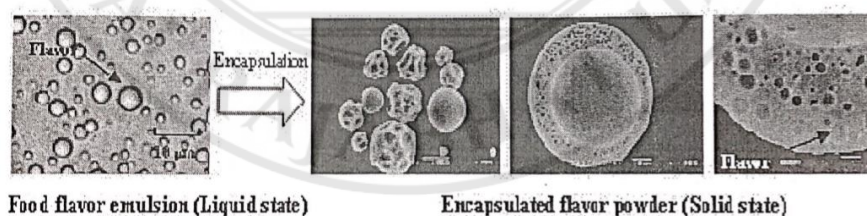
2.6.1 เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่นสารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือถูกยัดจับไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซ ซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating (นิรนาม, 2553)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

กระบวนการ microencapsulation มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและการสูญเสียสารระเหย ช่วยในการกักเก็บสี และปริมาณสารสำคัญ (Shu B. et al., 2005) เทคนิค microencapsulation ที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรส และความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 2.8 การเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส (Madene et al., 2006)

2.6.2 ข้อดีของกระบวนการเอนแคปซูเลชัน

1. เนื่องจากสารบางชนิดมีความไวต่อสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ออกซิเจน น้ำ เป็นต้น ทำให้มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไป
2. เนื่องจากสารบางชนิดระเหยได้ง่าย หากไม่มีแคปซูลมาป้องกันอาจจะเหือดหมด
3. ช่วยให้การนำสารไปใช้งาน เช่น การเปลี่ยนแปลงสารที่เป็นของเหลวให้อยู่ในรูปแคปซูลที่เป็นของแข็ง ง่ายแก่การนำไปผสมกับสารอื่น และไม่จับตัวเป็นก้อน
4. สามารถควบคุมการทำงานของสารให้มีการปลดปล่อยสารในบริเวณที่เหมาะสม และยังลดความเสี่ยงในการใช้สาร

2.6.3 ขั้นตอนกระบวนการเอนแคปซูเลชัน

โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลชันสารให้กลีนิรสปะกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารและสารเคลือบ โดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือโปรตีน ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง ซึ่งเทคนิคการเอนแคปซูเลชันจะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลีนิรสปะ และความเสถียรของสารให้กลีนิรสปะในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา

2.6.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)

ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันสารให้กลีนิรสปะ สามารถทำได้หลายวิธี วิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักๆ ดังนี้

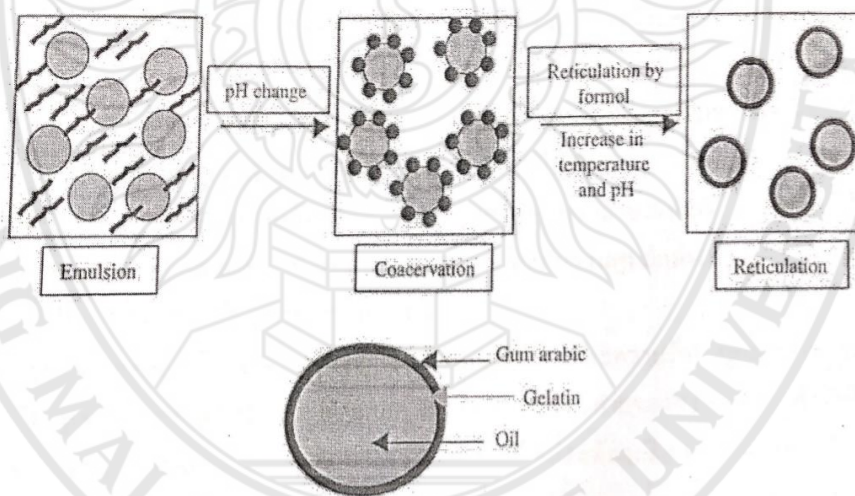
1. การเอนแคปซูเลชันโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical process)

Complex Coacervation หรือ Coacervation-Phase เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการทางเคมี โดยมีการทำงาน 3 ขั้นตอน คือ

- นำคอร์ที่ต้องการเคลือบไปกระจายตัวในสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเซลล์
- แยกวัฏภาค (phase) ของพอลิเมอร์ออกจากตัวทำละลายเพื่อให้พอลิเมอร์ไปดูดซับอยู่บนผิวของคอร์ที่ต้องการเคลือบ
- ทำให้ชั้นพอลิเมอร์ที่เคลือบแข็งตัวโดยอาศัยอุณหภูมิหรือสารเพิ่มความแข็งแรง เช่น สารประกอบแคลเซียมสามารถแยกแคปซูลออกโดยการกรองล้างด้วยสารละลายที่เหมาะสม หรือทำให้แห้งด้วย Spray Dryer เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งกระบวนการนี้มักใช้กับสารที่เป็นของเหลวหรืออนุภาคขนาดเล็กที่ไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันพืช วิตามินเอ เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 ลักษณะของ coacervated microgranules ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Madene et al., 2006)



ภาพที่ 2.10 หลักการของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค complex coacervation (Madene et al., 2006)

Interfacial Polymerization (IFP) เป็นกระบวนการที่มีการเติมมอนอเมอร์ (monomer) นำไปละลายในสารละลายคอร์แล้วมีการทำปฏิกิริยาเรียงตัวกันอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวของสารที่เป็นคอร์ เกิดเป็นแคปซูลของสารพอลิเมอร์ (polymer) ห่อหุ้มคอร์ไว้ภายใน ซึ่งกระบวนการนี้ใช้ในการเตรียมแคปซูลยาฆ่าแมลงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20-30 ไมครอน

Centrifugal Force Process เป็นกระบวนการที่พัฒนาขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2483 เพื่อผลิตไมโครเอนแคปซูลของน้ำมันปลาและวิตามินต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะเป็นการเอ็กซ์ทรูด (extruded) สารอิมัลชันระหว่างน้ำกับน้ำมันผ่านรูขนาดเล็กลงในอ่างน้ำมัน ส่วนที่เป็นน้ำของสารอิมัลชันจะไปรวมกับสารพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ ที่นำมาใช้ทำเซลล์ เช่น เจลาติน เมื่อเจลาตินนี้เย็นตัวลงก็จะห่อหุ้มน้ำมันไว้ภายใน สามารถทำให้แห้งแล้วนำไปใช้งานต่อไป

2. วิธีทางกายภาพ Spray Coating แบ่งออกได้เป็น

Pan Coating เป็นกระบวนการเคลือบอนุภาคของแข็งที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมครอนขึ้นไป ซึ่งพบมากในอุตสาหกรรมยา โดยการเคลือบด้วยยาบนอนุภาคที่เป็นของแข็งก่อน แล้วจึงนำไปเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์อีกครั้ง โดยผ่านลมร้อนตลอดเวลา

Fluidized Bed Coating เป็นกระบวนการที่ใช้เคลือบอนุภาคของแข็ง รวมถึงของเหลวที่จุดจับบนของแข็งมีพอร์ภายใน มักใช้ในอุตสาหกรรมยาเช่นกัน โดยอนุภาคจะเคลื่อนที่ด้วยแรงลมและหัวพ่นจะพ่นสารเคลือบที่เป็นของเหลวบนผิวอนุภาค จากนั้นจะถูกทำให้เย็นและแข็งตัว โดยจะมีการหมุนเวียนเช่นนี้ จนกระทั่งผนังแคปซูลมีความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 50-500 ไมครอน

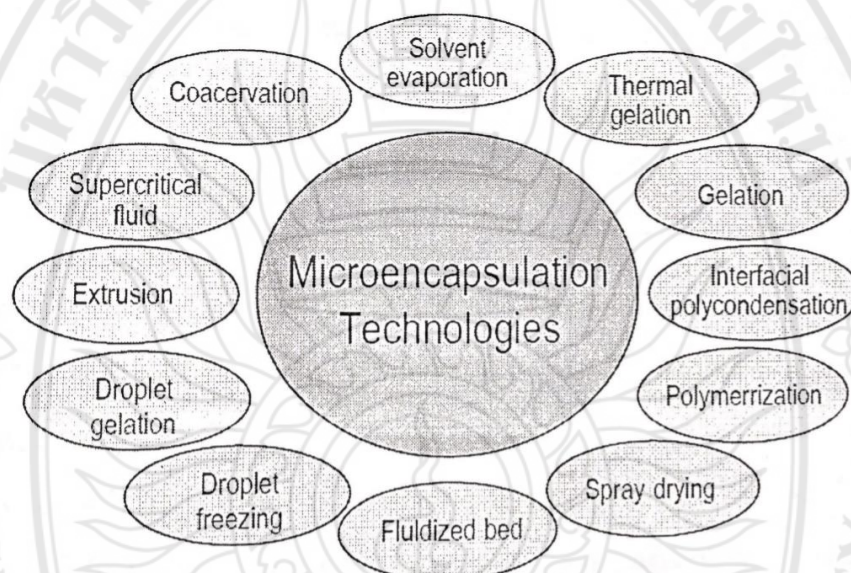
Spray Drying เป็นกระบวนการที่พัฒนาขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2473 โดยการนำสารที่ใช้เป็นคอร์ ซึ่งมักจะเป็นสารอิมัลชันของสารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สารให้กลิ่นรส (flavor) ผสมลงในสารละลายเซลล์ แล้วนำไปบรรจุในเครื่อง Spray Dryer และฉีดพ่นออกมาผ่านหัวพ่น น้ำจะระเหยไปกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 100-160 °C ทำให้ได้อนุภาคขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-150 ไมครอน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากในอุตสาหกรรมอาหาร

Spray Cooling หรือ Spray Chilling ใช้เคลือบสารที่ไม่ทนต่อความร้อนมีหลักการทำงานคล้ายกับวิธี Spray Drying โดยการนำอนุภาคไปกระจายตัวในสารละลายของสารเคลือบ แล้วนำไปพ่นผ่านหัวสเปรย์กระทบกับลมเย็น โดยสารเคลือบที่ใช้ในวิธีนี้จะต้องเป็นสารที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น Wax กรดไขมัน และสารพอลิเมอร์

Milt Extrusion ใช้ผลิตแคปซูลที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 250 ไมโครเมตรจนถึงไม่กี่มิลลิเมตร โดยจะมีการใช้เครื่อง Screw Extruder เข้ามาช่วย และใช้สารจำพวกคาร์โบไฮเดรต เพื่อเป็นสารตัวพา (carrier) สำหรับสารให้กลิ่นรส (flavor) แล้วทำการอัดผสมเข้าด้วยกัน

ในเครื่อง Screw Extruder และถูกอัดผ่านตะแกรงเป็นแผ่นหรือเส้น ตามต้องการ มักใช้ในอุตสาหกรรมสารกลื่นรสที่จะนำไปใช้ในการผลิตลูกกวาด

วิธีที่กล่าวมานั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของเทคนิคในการผลิตไมโครเอนแคปซูล ยังมีเทคนิคอื่นอีกมากมายซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารภายในแคปซูล และการนำไปใช้งาน (Gharsallaoui A. et al., 2007) ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตไมโครเอนแคปซูล

2.7 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dried)

การเก็บรักษาอาหารไว้ด้วยความเย็นเป็นหนึ่งในกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารไว้ให้นานขึ้น โดยยังคงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไว้ ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารมีวิธีการเก็บรักษาด้วยความเย็นหลากหลายรูปแบบ โดยมีค่าใช้จ่ายและราคาที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมของชนิดการเก็บรักษา หนึ่งในวิธีการเก็บรักษาอาหารที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือ การทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง (Freeze Dry) และวิธีการเก็บรักษานี้มีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมมากขึ้น ด้วยความสามารถในการรักษารูปร่าง รสชาติ คุณค่าทางอาหารเพื่อให้สินค้าสามารถเก็บได้นานนับปี

การทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง (Freeze Dry) Freeze Dehydration / Lyophilization / Freeze Dry ซึ่งหมายถึงการทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง โดยทำให้น้ำที่อยู่ในเซลล์ซึ่งเป็นของเหลวเปลี่ยน

สถานะเป็นของแข็งที่เป็นผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ ก่อน จากนั้นจะทำการลดความดันสภาพแวดล้อมให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งสามารถ ระเหิด (Sublimation) กลายเป็นไอ โดยภายใต้อุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำแข็งเกิดการระเหิดที่ความดัน 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า



ภาพที่ 2.12 การเปลี่ยนสถานะจาก ของเหลว > ของแข็ง > ไอน้ำ (สุกิจ, 2562)

2.7.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

สำหรับขั้นตอนการผลิตอาหารด้วยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีความคล้ายคลึงกับกระบวนการผลิตอาหารเบื้องต้นทั่วไปคือ คัดเลือก ล้าง ทำความสะอาด ปอกเปลือก ตัดแต่งขนาดให้เหมาะสม จากนั้นจึงนำเข้าสู่กระบวนการ 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแช่เยือกแข็ง (Freezing)

เป็นกระบวนการลดอุณหภูมิของสินค้าให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing Point) อย่างรวดเร็ว เพื่อทำให้น้ำที่อยู่ในเซลล์เกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก (Ice Crystal) ซึ่งการแช่เยือกแข็งที่นิยมกันเป็นแบบใช้ลมเย็น (Air Blast Freezing) และการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก (Cryogenic Freezing)

ขั้นตอนที่ 2 การทำแห้งขั้นปฐมภูมิ (Primary Drying)

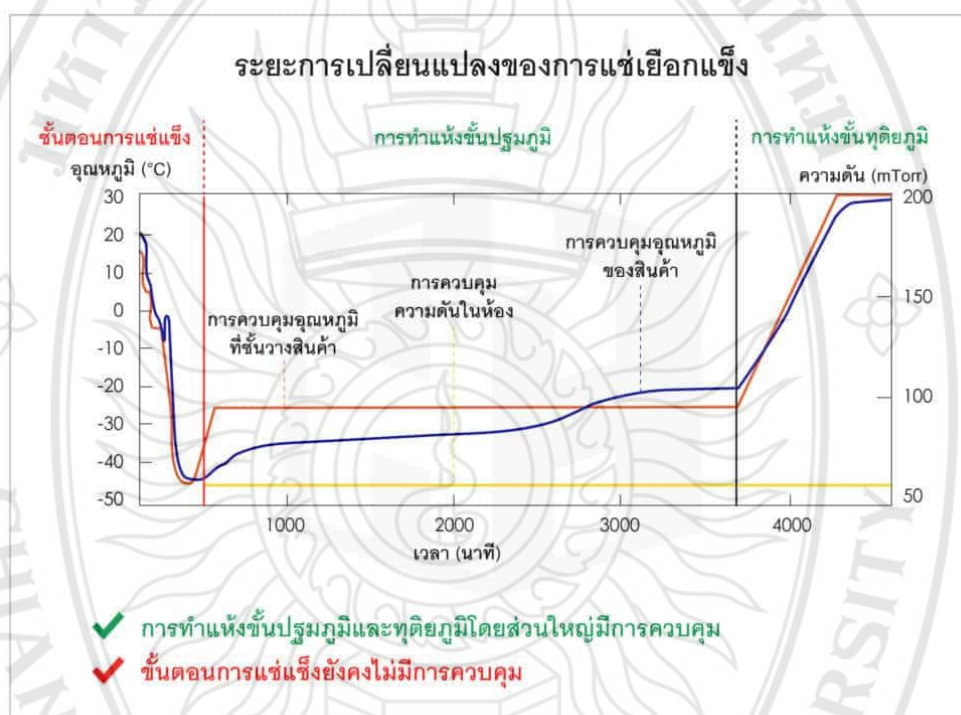
ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำ (Dehydration) ด้วยการระเหิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์ให้กลายเป็นไอน้ำด้วยการลดความดันบรรยากาศโดยรอบให้ต่ำลงในระดับของสุญญากาศ (Vacuum) โดยการระเหิดของผลึกน้ำแข็งจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์ต้องใช้ความดันต่ำกว่า 132 Pa และ 132 mPa ตามลำดับ

สำหรับการระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (Ice Layer) จะเริ่มขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสอากาศก่อน ทำให้บริเวณผิวน้ำนี้กลายเป็นชั้นแห้ง (Dry Layer) จากนั้นชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายใน

ผลิตภัณฑ์จะระเหิดผ่านชั้นแห้งไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ตามลำดับ โดยระยะเวลาการระเหิดนั้นขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ขั้นตอนที่ 3 การทำแห้งขั้นทุติยภูมิ (Secondary Drying)

หลังจากผลิตภัณฑ์น้ำแข็งระเหิดออกไปหมดแล้วในขั้นปฐมภูมิ แต่ก็ยังมีความชื้นคงเหลืออยู่ ซึ่งจำเป็นต้องทำให้แห้งด้วยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อดึงเอาความชื้นที่ตกค้างอยู่ออกไปให้เหลืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยกับการเก็บรักษา



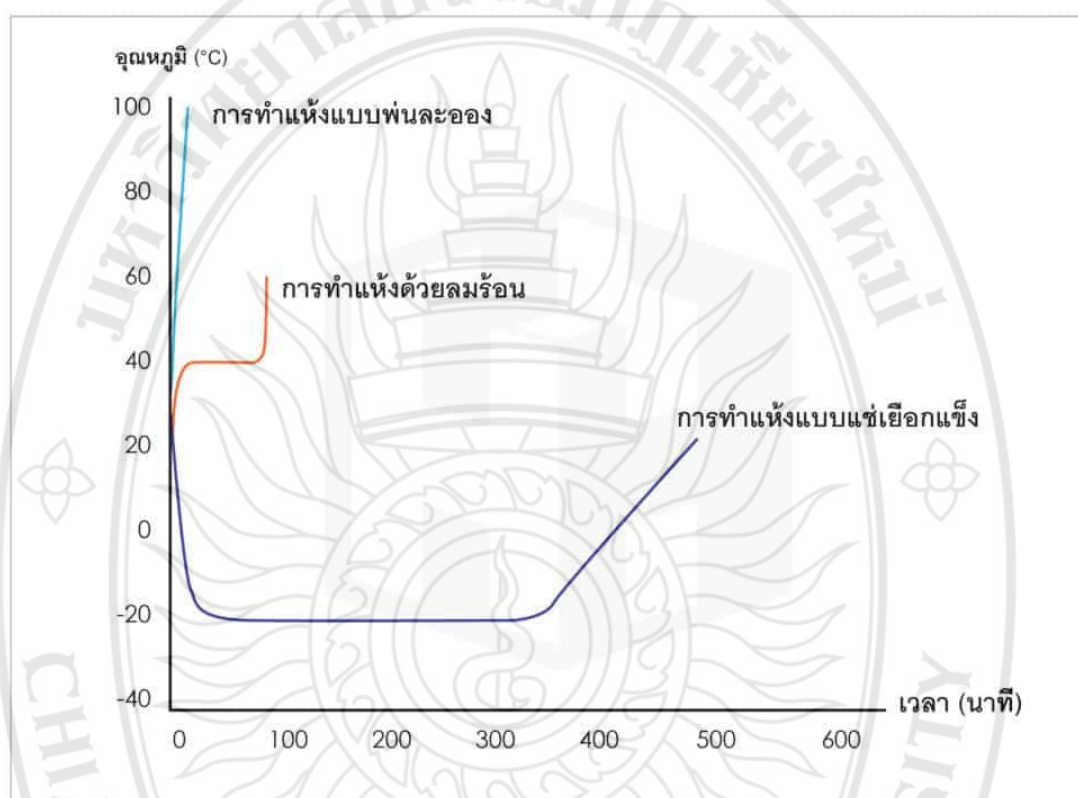
ภาพที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงของน้ำแข็งในแต่ละขั้นตอน (สุกิจ, 2562)

2.7.2 ข้อดีของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

กระบวนการแปรรูปและเก็บสินค้าด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้สามารถรักษาคคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ได้ดี เนื่องจากกระบวนการทำให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการเสียคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่น้อย รวมถึงการเพิ่มอุณหภูมิในขั้นทุติยภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้เนื้อเยื่อและโครงสร้างของเซลล์เสียหายได้น้อยมาก

การทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง ทำให้ได้อาหารแห้งที่มีคุณภาพสูงและสามารถคืนตัวได้ดี (Rehydration) โดยยังคงรักษา สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเอาไว้ได้ดี เมื่อ

เปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาด้วยวิธีการทำแห้งรูปแบบอื่น เช่น การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray Drying) หรือการทำให้แห้งด้วยลมร้อน (Hot Air Drying) ซึ่งทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงเสียหาย และเสียคุณค่าทางอาหารได้มากกว่า (สุกิจ, 2562)



ภาพที่ 2.14 การเปรียบเทียบชนิดของการทำแห้ง 3 รูปแบบ (สุกิจ, 2562)

2.8 มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin)

มอลโตเดกซ์ตริน คือคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ประเภท polysaccharide ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช (starch) บางส่วนให้เป็นสายสั้นๆ ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) มีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวไม่มีรส หรือมีรสหวานเล็กน้อยสามารถละลายในน้ำได้ดี

กรรมวิธีการผลิตมอลโตเดกซ์ตริน มอลโตเดกซ์ตริน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลส์สตาร์ช (starch hydrolysate) วัตถุดิบที่ใช้เพื่อผลิตมอลโตเดกซ์ตรินคือ สตาร์ช (starch) จากพืชต่างๆ เช่น สตาร์ชจากมันสำปะหลัง (tapioca starch) สตาร์ชข้าวโพด (corn starch) สตาร์ชมันฝรั่ง (potato

starch) ขั้นตอนแรก คือการเตรียมสารละลายสตาร์ช (starch slurry) และให้ความร้อนจนเม็ดสตาร์ชเกิดการสุก (gelatinization) แล้วจึงย่อยสตาร์ช (starch hydrolysis) ให้มีโมเลกุลเล็กลง ทำได้โดยใช้เอนไซม์ อะไมเลส (amylase) ชนิด แอลฟา-อะไมเลสแล้วจึงนำไปกรอง (filtration) และทำให้บริสุทธิ์ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้เข้มข้น (concentration) และทำแห้ง (dehydration) ให้เป็นผง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier)

การใช้มอลโทเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์อาหาร มอลโทเดกซ์ทรินใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างกว้างขวาง ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก อาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน อาหารไขมันต่ำ ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ประเภทอาหารผง เช่น เครื่องดื่มผง เครื่องปรุงรสชนิดผง การใช้มอลโทเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์อาหารใช้ในอาหาร เพื่อสุขภาพ โดย จัดเป็น Functional food ประเภท prebiotic เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) เป็นสารทดแทนไขมัน (fat substitute) ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (bakery) ไอศกรีม ป้องกันการเกาะเป็นก้อน (anticaking agent) เพิ่มเนื้อ (bulking agent) เช่น เพิ่มเนื้อในการทำแห้ง (dehydration) อาหารแห้ง ประเภท อาหารผง เครื่องดื่มผง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย spray drier หรือ drum drier ห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส (flavor encapsulation) (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

2.9 กัมอารบิก (Gum Arabic)

กัมอารบิก เป็นสารประกอบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) ที่นิยมใช้กันแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมอาหาร กัมอารบิกมาจากน้ำยางธรรมชาติที่ไหลออกมาจากผิวเปลือกของลำต้นของพืชในกลุ่มอะคาเซีย (Acacia) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Acacia Senegal น้ำยางจะไหลเกาะกันเป็นก้อน เมื่อกระทบความร้อนจากแสงแดดจะแห้งแข็งตัวใสคล้ายแก้วเกาะอยู่ตามกิ่งก้าน และลำต้นของพืช มีสีส้มแตกต่างกันไปตั้งแต่ขาวใสจนถึงเหลืองอำพัน รูปทรงมองดูคล้ายหยดน้ำบ้าง ทรงกลมรีบ้าง ไปจนถึงมีเหลี่ยมมุมบ้างตามธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติจากพืชกลุ่มนี้ได้ถูกรวบรวมนำมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์มานานกว่า 4,000 ปีก่อนคริสตศักราช โดยในระยะเริ่มแรกได้นำมาใช้ในรูปแบบของกาวเพื่อผสมสีประเภท Mineral paint ใช้เขียนอักษรและรูปภาพตามความเชื่อของชาวอียิปต์โบราณ น้ำยางในกลุ่มพืชอะคาเซียมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งชนิดที่ให้น้ำยางมีคุณภาพดีที่สุดคือ อะคาเซียเซเนกัล (Acacia Senegal) ที่เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ตอนกลางของประเทศชูดานในทวีปแอฟริกา (Sahel Zone) จึงมีชื่อเรียกขานและเป็นที่ยู้งักกันอย่างดีในเชิงพาณิชย์ว่า กัมอารบิก (Gum Arabic) และกัมอะคาเซีย

(Acacia Gum) หรือกัมชูดาน (Sudan Gum) อันสืบเนื่องมาจากการจัดขนส่งทางเรือที่ทำเรือในกลุ่มประเทศอาหรับ

คุณสมบัติของกัมอารบิก ทางชีววิทยาและพิษวิทยา กัมอารบิกเป็นสารประกอบจากธรรมชาติที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่มีรส และที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อร่างกายและมลภาวะ ซึ่งได้ผ่านการรับรองระบบมาตรฐานของอาหารโลก และได้รับกำหนดในตำรับ GRAS (Generally Recognized as Safe) และมาตรฐานของ United State pharmacopia, Food Chemical Codex และ EU Number E414 รวมทั้งผ่านการรับรองจากสำนักคณะกรรมการอาหารและยาประเทศไทย ในแง่โภชนาการ ยอมรับว่า กัมอารบิกถูกย่อยได้ต่ำมากในระบบการย่อยของร่างกายมนุษย์ จึงเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้พลังงานต่ำ หรือปราศจากน้ำตาลได้เป็นอย่างดี

การละลายกัมอารบิก สามารถละลายได้ดีในน้ำทั้งอุณหภูมิปกติ น้ำร้อน หรือน้ำเย็นได้ง่าย เพียงนำมาผสมในน้ำ และกวนหรือคนอยู่จนละลาย กัมอารบิกสามารถละลายได้ดีที่ความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นซึ่งค่อนข้างละลายได้ยาก และละลายได้ไม่เกินความเข้มข้นที่ร้อยละ 5 เท่านั้น

พฤติกรรมการไหลและความหนืด สารละลายกัมอารบิกจะให้ความหนืดต่ำเมื่อวัดความหนืดได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นสูงกว่าร้อยละ 40 จะให้ความหนืดสูงมากจนมีลักษณะข้นหนืดคล้ายเจล และความหนืดของกัมอารบิกนี้จะคงอยู่ได้ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ช่วงกว้างคือ 4 – 10 พฤติกรรมการไหลที่เข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 40 ลงไป จะเป็นการไหลแบบ Newtonian ซึ่งไม่พบในสารไฮโดร-คอลลอยด์ชนิดอื่น แต่ในขณะเดียวกันถ้าความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป จะเป็นการไหลแบบ Pseudoplastic ซึ่งพบว่ามีผลต่อความรู้สึกรับสัมผัสภายในปาก Mouthfeel Sensation คือทำให้ไม่เกิดการระคายเคืองหรือมีสิ่งตกค้างภายในปาก ไม่รู้สึกกระด้าง เหตุนี้จึงนิยมนำกัมอารบิกมาใช้เป็นสารแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำเพื่อเสริมสุขภาพ

คุณสมบัติการเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifiers) กัมอารบิกมีประสิทธิภาพสูงในการ ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เนื่องจากโครงสร้างที่มีส่วนที่เป็นกรดอะมิโนสามารถดูดซับจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้อย่างดี และแข็งแรง ช่วยป้องกันการเกิด Coalescence in emulsion และในส่วนโครงสร้างที่เป็น arabinogalactan จะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนที่เป็นน้ำ จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมมากในการผลิตอิมัลชันของน้ำมันกลั่นเพื่อให้ในการแต่งกลิ่น ซึ่งใช้ได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลิ่นส้ม (วารสารสถาบันอาหาร)

2.10 ไตรแคลเซียมฟอสเฟต Tri-Calcium Phosphate (TCP)

ไตรแคลเซียมฟอสเฟต Tri-Calcium Phosphate (TCP) เป็นสารกลุ่ม anticaking agent เป็นกลุ่มของวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ที่ใช้เติมในอาหารแห้ง (dehydrated food) ประเภทที่เป็นผง เช่น นมผง น้ำผลไม้ผง เครื่องดื่มผง ผงฟู (baking powder) ผงปรุงรส (dry mixed seasoning) เกลือบริโภค (table salt) ผงปรุงอาหาร หรือใช้คลุกกับอาหารแห้งที่เป็นชิ้น เพื่อป้องกันการดูดความชื้นทำให้รวมตัวกันเป็นก้อน

สมบัติสำคัญของ anticaking agent คือ โมเลกุลของสารจะดูดน้ำ หรือจับกับน้ำได้ดีมาก อาจดูดน้ำได้มากถึง 2 เท่าของน้ำหนักตัว ช่วยดูดน้ำจากบรรยากาศที่ล้อมรอบอาหารในบรรจุภัณฑ์ และช่วยดูดน้ำออกจากผิวของอาหารผงด้วย ทำให้อาหารผงคงความชื้นต่ำ กระจายตัวได้ไม่เกาะกันเป็นก้อน (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2562)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทวีพร อุณจักร (2530) พบว่า ในผลมะเกี๋ยงสุกจะมีสารอินทรีย์ที่สามารถละลายในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำมะเกี๋ยงมีความเปรี้ยวและมีปริมาณกรดมาก ส่วนใหญ่เป็นกรดซิตริก ปริมาณกรดในผลมะเกี๋ยงมีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ จึงอาจเป็นผลทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกแตกต่างกัน ส่งผลให้สีของมะเกี๋ยงมีความแตกต่างกัน ผลมะเกี๋ยงมีขนาดเล็กเมื่อนำมาต้มเพื่อเตรียมน้ำมะเกี๋ยงจะให้น้ำมะเกี๋ยงมีสีเข้มขึ้นกว่าน้ำมะเกี๋ยงจากผลที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสีของผลมะเกี๋ยงเกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานินประเภท Cyanidin-3-glucosides เป็นองค์ประกอบหลัก และ Cysnidin-3-5-glucosides เป็นองค์ประกอบรอง

ยุพาพร (2547) ได้ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินจากเปลือกมังคุดบริเวณด้านนอกและด้านในโดยใช้ตัวทำละลายคือ 1% HCl ใน 95%เอทานอล ศึกษาอัตราส่วนของเปลือกมังคุดต่อตัวทำละลาย และเวลาในการสกัด พบว่าส่วนด้านนอกมีปริมาณแอนโธไซยานินมากกว่าด้านใน สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ อัตราส่วนของเปลือกมังคุดต่อตัวทำละลาย คือ 1:25 และเวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ทั้งนี้ยังพบว่าแสงและอุณหภูมิส่งผลต่อการคงตัวของแอนโธไซยานิน

สิริญญา และคณะ (2562) ได้นำตัวอย่างมะเกี๋ยงจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดลำปาง และมะเกี๋ยงสายพันธุ์พื้นเมือง ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดพะเยา มาสกัดด้วย 70 เปอร์เซ็นต์เอทานอล จากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ทางชีวภาพใน การต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง จากผล

การทดลองพบว่าสารสกัดมะเข็ญจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอัน เนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (MK1) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวมและโปรแอนโธไซยานินรวมเท่ากับ 70.99 ± 6.30 mg gallic acid/g extract, 3.78 ± 0.68 mg catechin/g extract และ 4.88 ± 0.88 mg catechin/g extract ตามลำดับ ส่วนสารสกัดมะเข็ญพันธุ์พื้นเมือง (MK2) มีปริมาณสารกลุ่มดังกล่าวเท่ากับ 70.57 ± 3.31 mg gallic acid/g extract, 2.28 ± 0.27 mg catechin/g extract และ 3.22 ± 0.36 mg catechin/g extract ตามลำดับ สำหรับการศึกษากิจกรรมทางชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช และเอบีทีเอสพบว่าสารสกัด MK1 มีค่าความเข้มข้นในการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช และเอบีทีเอสได้ครั้งหนึ่งของ อนุมูลอิสระทั้งหมด (ค่า IC_{50}) เท่ากับ 91.27 ± 0.19 และ 12.74 ± 0.59 μ g/ml ส่วนสารสกัด MK2 มีค่าความเข้มข้น ดังกล่าวเท่ากับ 131.79 ± 8.42 และ 22.95 ± 0.33 μ g/ml จากการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสารสกัด MK1 มีปริมาณ สารประกอบโปรแอนโธไซยานินรวม ($p < 0.001$) และเอบีทีเอส ($p < 0.01$) สูงกว่าสารสกัด MK2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สุนทรี (2537) ได้ศึกษาการทำแห้งน้ำมะนาวแบบเยือกแข็ง (freeze drying) โดยศึกษาผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นสารช่วยทำแห้ง (drying aid) ที่เติมในน้ำมะนาว และวิธีการแช่แข็ง (โดยใช้วิธีการแช่แข็งแบบอัตราเร็วต่ำใน freezing room และการแช่แข็งแบบอัตราเร็วสูงใน air-blast freezer) ต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ผงน้ำมะนาวพรีชดรายด์ รวมทั้งศึกษาผลของไตรแคลเซียมฟอสเฟต (TCP) ซึ่งเป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนและผลของ in-package desiccant (IPD) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผงน้ำมะนาวพรีชดรายด์ระหว่างการเก็บในถุงลามิเนต (PET-PE-AL-PE) ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินจะช่วยลดปริมาณความชื้นและการดูดความชื้นของผงน้ำมะนาวพรีชดรายด์ วิธีการแช่แข็งแบบอัตราเร็วสูงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าเมื่อแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ แต่การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินจะช่วยลดอิทธิพลของวิธีการแช่แข็งต่อปริมาณความชื้นของผงน้ำมะนาวพรีชดรายด์ นอกจากนี้พบว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินและการใช้วิธีการแช่แข็งแบบอัตราเร็วต่ำมีผลช่วยเพิ่มความคงตัวระหว่างการทำแห้งของ citral และ d-limonene ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสที่สำคัญของน้ำมะนาว ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส จากการศึกษพบว่า ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินและวิธีการแช่แข็งที่เหมาะสมคือ 30% โดยน้ำหนักน้ำมะนาว และใช้การแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ ตามลำดับ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงลามิเนตที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน พบว่า ปริมาณวิตามินซีและปริมาณกรดมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ปริมาณความชื้น ค่า water activity (a_w) การจับตัวเป็นก้อนและค่าการเกิดสีน้ำตาล เพิ่มขึ้นตาม

ระยะเวลาการเก็บ อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบยังให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ การใช้ TCP ในปริมาณ 0.5% หรือ 1.0% โดยน้ำหนักและการใช้ IPD (silica gel ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก) มีผลช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น ค่า $a_{\text{subscript w}}$ การจับตัวเป็นก้อนและค่าการเกิดสีน้ำตาล อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ธมนวรรณและคณะ (2559) กล่าวว่าฟักข้าวเป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ โดยเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่มักจะถูกนำมาบริโภคและ นำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือการทำเป็นผงซึ่งมักจะพบปัญหาเรื่องการละลายน้ำ, การแยกชั้นของไขมันหลังการละลาย และการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์เยื่อฟักข้าวผง ในการทดลองนี้จึงได้มีการพิจารณาใช้มอลโตเดกซ์ตรินซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีและช่วยการป้องกันการจับตัวเป็นก้อน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณเนื้อของผงที่ได้อีกด้วยและ ได้มีการศึกษาผลของความเข้มข้นมอลโตเดกซ์ตรินที่เติมลงไป (10% ,15% และ 20% w/w) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมี ของผลิตภัณฑ์เยื่อฟักข้าวผงโดยทำการแยกเอาเมล็ดออกจากเยื่อหุ้มเมล็ดโดยการกรองผ่านตะแกรง นำเยื่อหุ้มเมล็ดมา ผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินและใช้ทวิน 80 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการปั่น แล้วนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 330 นาทีแล้วนำมาปั่น ให้เป็นผงละเอียด จากการทดลองนี้พบว่าความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินที่ 20% w/w เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เยื่อฟักข้าวผง เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนฉบับที่ 1495 (พ.ศ. 2552) เรื่องสมุนไพรรวมผงสำเร็จรูป

Shen et al. (2007) ศึกษาอัตราส่วนของเอทานอลที่ใช้ในการแช่กลีบดอกกุหลาบเพื่อสกัด สีแดง (สีแดงจากแอนโธไซยานิน) ให้ได้คุณภาพดีที่สุด และพัฒนากระบวนการสกัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์หลักกุหลาบโดยวิธีพื้นที่ผิวสองแบบ Box-Behnken Design ที่ใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด โดยศึกษา 3 ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแต่ละปัจจัยใช้ 3 ระดับได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของกรดซิตริก (X3) : 0 , 1, 2 wt% เอทานอล (X2): 20 , 40, 60 vol% เวลาในการแช่ (X3) : 12, 24, 36 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า กระบวนการสกัดกลีบดอกกุหลาบด้วยเอทานอล เพื่อให้ได้คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด คือ การแช่กลีบกุหลาบ แช่ในอัตราส่วน 1:10 (กลีบกุหลาบ : เอทานอล, w/v) ในปริมาณ เอทานอลร้อยละ 30-33 กับผสมกรดซิตริก 0.6-0.8 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเจือจางให้ได้หลักกุหลาบที่มีปริมาณสารเอทานอลล้อยละ 16

Zhendong Yang et al (2010) ได้ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินจากชั่งข้าวโพดสีม่วงด้วยเทคนิคไมโครเวฟเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design ปัจจัยที่ศึกษาคือเวลาที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนของแข็ง-ของเหลว 1:20 และพลังไมโครเวฟ 555 วัตต์ ได้สารแอนโธไซยานิน 185.1 mg/100g