บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันวิถีการดำเนินชีวิตของประชากรต้องเผชิญกับความเครียด และเสี่ยงต่อโรคภัยต่างๆ จึงมีการให้ความสนใจในเรื่องสุขภาพของตนเองเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งผู้บริโภคนอกจากจะให้ความสนใจด้านความปลอดภัย ความสะดวก และรสชาติแล้ว คุณค่าทางโภชนาการยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคนำมาพิจารณาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ โดยเน้นการเลือกรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีประโยชน์และมาจากธรรมชาติ ได้แก่ เครื่องดื่มจากสารสกัดผักและผลไม้ ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้จึงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในปัจจุบันและอนาคต

พืชสมุนไพรเป็นแหล่งสำคัญที่ได้รับความสนใจในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและเครื่องดื่ม เนื่องจากเป็นแหล่งของสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมถึงสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ กระเจี๊ยบแดงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ จากรายงานในปี 2530 มีการส่งออกกระเจี๊ยบแดงแห้งจำนวน 300-400 ตัน มูลค่าประมาณ 7 ล้านบาท ไปยังประเทศในยุโรป จากรายงานในปี 2543 มีการใช้กระเจี๊ยบแดงคิดเป็น 1,122 ตันต่อปี โดยส่วนใหญ่จะใช้ในการส่งออกประมาณ 1,000 ตันต่อปี ตลาดหลักได้แก่ ประเทศเยอรมันนี เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและอาหาร (แฉล้ม มาศวรรณา และคณะ, 2545)

คุณประโยชน์ที่สำคัญของกระเจี๊ยบแดงต่อสุขภาพ ได้แก่ ลดความดันโลหิต ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อรา ลดคลอเลสเตอรอลในเลือด เพิ่มกรดยูริกในปัสสาวะ เป็นต้น (นันทวัน บุณยะประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร, 2541) นอกจากนี้ กระเจี๊ยบแดงยังมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารสำคัญที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในกระเจี๊ยบแดง ได้แก่ แอนโทไซยานิน (Tee *et al*., 2002) ในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำกระเจี๊ยบแดงมาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย เช่น การผลิตเป็นเครื่องดื่ม เยลลี่ ซอส ไวน์ (Heureux-Calix and Badrie, 2004) หรือใช้เป็นแหล่งของสีจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในทางเภสัชกรรม และเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง (Mazza and Miniati, 1993)

สำหรับการผลิตกระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นเป็นแนวทางหนึ่งในการนำกระเจี๊ยบแดงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่กระเจี๊ยบแดงได้ โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกระเจี๊ยบแดงทั้งในรูปกระเจี๊ยบแดงสดและกระเจี๊ยบแดงแห้ง ให้เป็นผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น โดยคำนึงถึงคุณสมบัติของการคงไว้ของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น ตลอดจนศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นในระหว่างการเก็บรักษา

ตรวจเอกสาร

1. กระเจี๊ยบแดง

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชล้มลุกอยู่ในตระกูล Malvaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* Linn. มีชื่อสามัญว่า Roselle, Jamica Sorrel หรือ Roselle of Rama มีชื่อเรียกในประเทศไทยหลายชื่อ ภาคกลางเรียกว่า กระเจี๊ยบแดง ภาคเหนือเรียกผักเก็งเค็ง ภาคอีสานเรียกว่า ส้มพอดี หรือส้มพอเหมาะ (นันทวัน บุณยะประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร, 2541) กระเจี๊ยบแดงเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูง 1-2 เมตร ลำต้นและกิ่งก้านมีสีแดงอมม่วง ใบเป็นใบเดี่ยว กว้างยาวพอๆ กัน ประมาณ 8-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว ขอบใบหยักลึก คล้ายนิ้วมือ 3 หรือ 5 แฉก ดอกเป็นดอกเดี่ยวออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีชมพูหรือสีเหลือง โคนกลีบด้านในมีสีม่วงแดง เกสรตัวผู้เชื่อมกันเป็นหลอด ดอกที่ได้รับการผสมเกสรแล้วกลีบดอกจะร่วง กลีบเลี้ยงจะขยายใหญ่ หนาและแข็ง สีแดงเข้ม (วันดี กฤษณพันธ์ และคณะ, 2541) กระเจี๊ยบแดงชอบอากาศร้อนสามารถปลูกได้ทั่วไป ขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่ไม่ชอบดินที่มีน้ำขัง ค่อนข้างทนแล้ง ต้องการน้ำช่วงต้นยังเล็กอยู่ เมื่อโตมีความต้องการน้ำน้อยลง กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชตอบสนองต่อช่วงแสง จะออกดอกเมื่อมีช่วงแสงน้อยกว่า 12.0 ชั่วโมงต่อวัน ฉะนั้นจึงปลูกปลายฤดูฝนระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคมได้ดี เพราะมีเวลาเจริญเติบโตทางลำต้นเพียงพอที่จะให้ผลผลิตสูงสุด ถ้าปลูกช่วงต้นฤดูฝน (พฤษภาคมถึงมิถุนายน) หรือก่อนระยะเวลาปลูกที่เหมาะสมจะให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากกระเจี๊ยบแดงจะมีทรงต้นใหญ่ แต่ให้ปริมาณดอกและกลีบเลี้ยงน้อย เช่นเดียวกับการปลูกในช่วงฤดูหนาวหรือปลูกในช่วงที่ไม่เหมาะสม ส่วนพันธุ์กระเจี๊ยบแดงที่ปลูกกันในประเทศไทยมีด้วยกันหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ซูดานเป็นพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงถึงแดงเข้ม ส่วนพันธุ์บราซิลเป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากเยอรมันตะวันตกมี

ลักษณะกลีบเลี้ยงโตและหนา สีแดงเข้ม ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังมีพันธุ์เอส-2760 ซึ่งถึงแม้ว่าจะเป็นพันธุ์ที่ให้กลีบเลี้ยงค่อนข้างดกและสีแดงแต่มีข้อเสียที่กลีบเลี้ยงค่อนข้างบาง (แฉล้ม มาศวรรณา และคณะ, 2545) สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พันธุ์ซูดานเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากในจังหวัดสงขลา กระเจี๊ยบแดงเริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุประมาณ 110 วัน ถึง 120 วันหรือประมาณปลายเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายนเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วจะนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเบื้องต้นโดยการกระทุ้งเอาเมล็ดออก กระเจี๊ยบแดงสดจำนวน 8.0 ถึง 10.0 กิโลกรัมจะได้กระเจี๊ยบแดงแห้งประมาณ 1.0 กิโลกรัม (ณรงค์ เหล่าโชติ และเนาวรัตน์ เสริมศรี, 2530)

1.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหารของกระเจี๊ยบแดง

แฉล้ม มาศวรรณา และคณะ (2545) รายงานว่า กระเจี๊ยบแดงเป็นแหล่งของแคลเซียม ฟอสฟอรัสและวิตามินเอ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของกระเจี๊ยบแดงสด 100.0 กรัม

Table 1 Nutrient of 100.0 g fresh roselle calyxes

Nutrient	Values
Moisture (%)	86.60
Total energy (Calories)	460.00
Total fat (g)	0.30
Total carbohydrate (g)	9.40
Crude fiber (g)	1.30
Protein (g)	1.40
Calcium (mg)	151.00
Phosphorus (mg)	59.00
Iron (mg)	1.00
Vitamin B1 (mg)	0.01
Vitamin B2 (mg)	0.24
Niacin (mg)	1.80
Vitamin A (IU)	10,833.00

ที่มา : แฉล้ม มาศวรรณาและคณะ (2545)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของกระเจี๊ยบแดง

Table 2 Chemical properties of roselle fruits

Chemical properties	Values*
pH	2.49±0.00
Total acidity, as malic acid (%)	2.42±0.03
Total soluble solids (^{0}Brix)	3.30±0.12
Total anthocyanin, as delphinidin 3-glucoside (g/100 g roselle fruits)	2.52±0.05
Sugars (g/100g roselle fruits)	
Glucose	1.29±0.15
Fructose	1.12±0.26
Sucrose	0.87±0.21
Organic acid (g/100g roselle fruits)	
Succinic acid	0.51±0.08
Oxalic acid	0.43±0.05
Tartaric acid	0.17±0.03
Malic acid	0.12±0.03
Ascorbic acid (mg/100g roselle fruits)	141.09±22.54
β-carotene (mg/100g roselle fruits)	1.88±0.31
Lycopene (μg/100g roselle fruits)	164.34±70.10

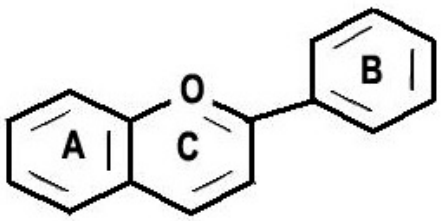
*Determination was done in triplicate.

ที่มา : Wong และคณะ (2002)

2. แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) เป็นรงควัตถุที่ละลายในน้ำ และอยู่ในเซลล์แซป (เซลล์น้ำหล่อเลี้ยง) ของพืช ให้สีแดง น้ำเงิน และม่วง ในผักและผลไม้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545ก) เช่น กะหล่ำปลีสีม่วง กระเจี๊ยบแดง ผลไม้เปลือกแดง เช่น แอปเปิ้ล ชมพู่สาแหลก และมังคุด รงควัตถุชนิดนี้จะมีอยู่ที่เปลือกเท่านั้น จะไม่มีอยู่ในเนื้อของผลไม้ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2526)

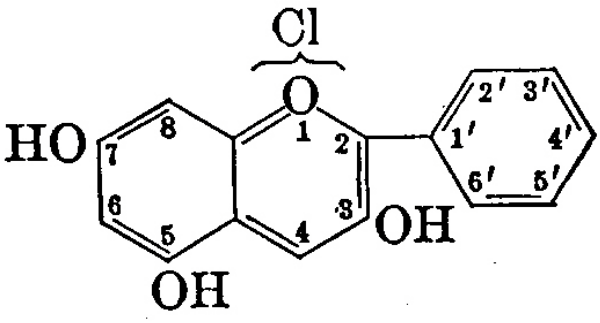
แอนโทไซยานินเป็น 2-ฟีนิลเบนโซไพริเลียม (2-phenylbenzopyrylium) หรือเกลือของฟลาวิเลียม (flavylium salt) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 ตัว ($C_6C_3C_6$) และเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาล และส่วนที่เป็นแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) เรียกว่าอะไกลโคน (aglycones) โครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุลของแอนโทไซยานิดิน ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน (benzopyran) จำนวน 2 วงต่อกับวงแหวนฟีนิล (phenyl ring) มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 1 แอนโทไซยานิดินจะเอสเทอริไฟด์ติดกับน้ำตาล 1 ตัว หรือมากกว่า 1 ตัว เช่น กลูโคส กาแลกโตส อราบิโนส ไซโลส และไดแซคคาร์ไรด์หรือไตรแซคคาร์ไรด์ (Mazza and Miniati, 1993; Von Elbe and Schwartz, 1996) นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545ก) รายงานว่า แอนโทไซยานินส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของ 3,5,7-ไตรไฮดรอกซีฟลาวิเลียม คลอไรด์ (3,5,7-trihydroxyflavylium chloride) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิดิน

Figure 1 Basic structures of anthocyanidins

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545ก)



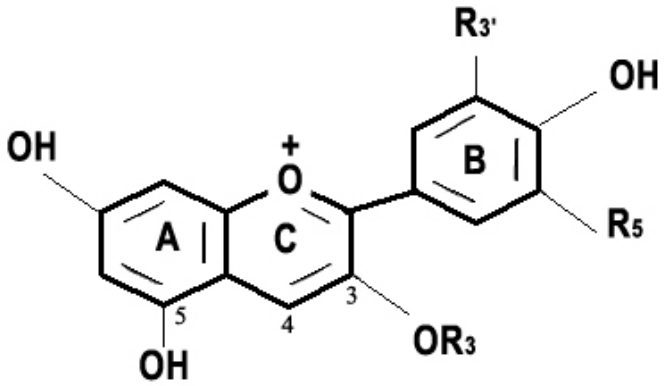
ภาพที่ 2 โครงสร้างของ 3,5,7-ไตรไฮดรอกซีฟลาวิเลียมคลอไรด์

Figure 2 Structures of 3,5,7-trihydroxyflavylium chioride

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545ก)

Von Elbe and Schwartz (1996) รายงานว่า สีของแอนโทไซยานินจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวงแหวน A และ B ส่วนโมเลกุลของน้ำตาลมักเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของวงแหวน C (Stintzing *et al*., 2004) ดังแสดงในภาพที่ 3

แอนโทไซยานิดินที่พบบ่อยในพืชมี 6 ชนิด ได้แก่ พีลาร์โกนิดิน (pelargonidin) ไซยานิดิน(cyanidin) พีโอนิดิน (peonidin) เดลฟีนิดิน (delphinidin) พีทูนิดิน (petunidin) และมัลวิดิน (malvidin) (Mazza and Miniati, 1993; Von Elbe and Schwartz, 1996) ดังแสดงในภาพที่ 4 ตัวอย่างแอนโทไซยานิดินที่พบเป็นองค์ประกอบของแอนโทไซยานินในผักและผลไม้บางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3

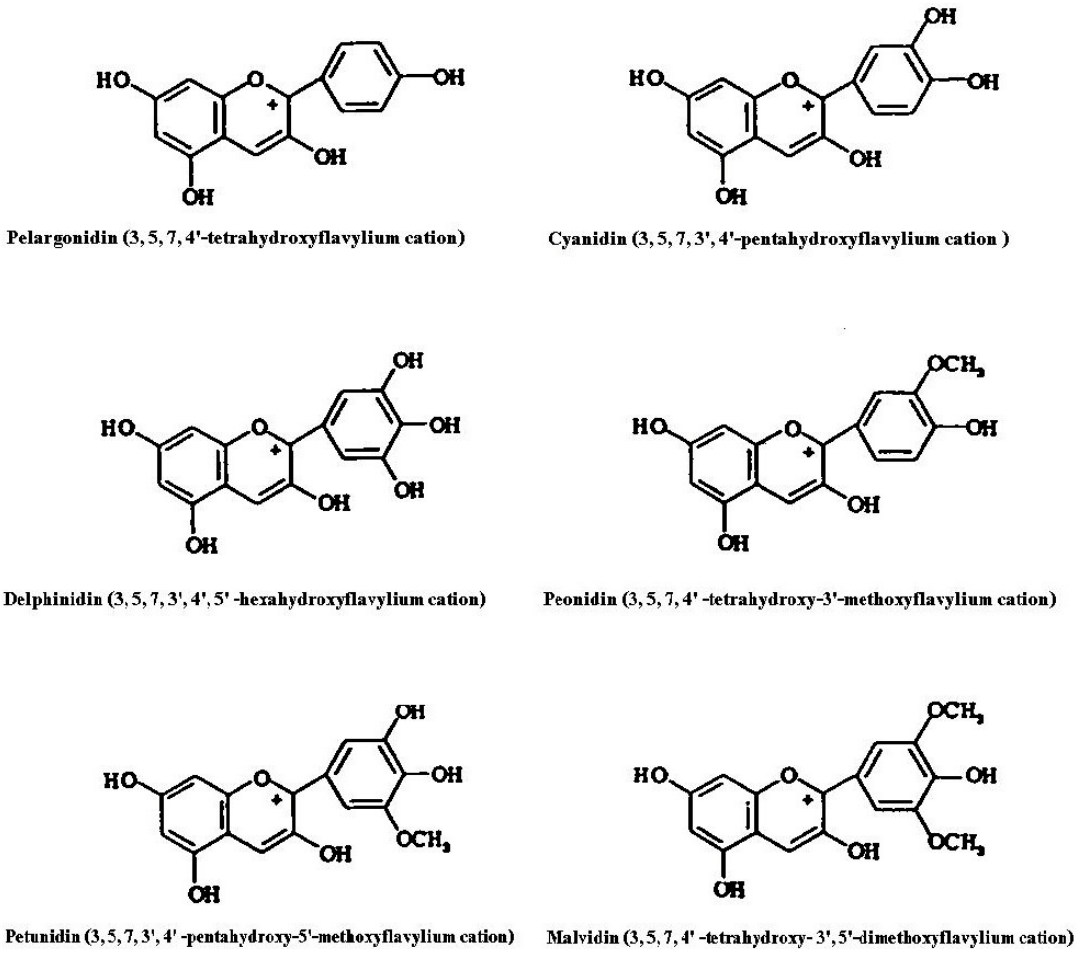


Anthocyanin	R_3	$R_{3'}$	R_5	$\lambda_{vis\text{-}max}$(nm)
Pelargonidin	H	H	H	520
Cyanidin	H	OH	H	535
Delphinidin	H	OH	OH	546
Peonidin	H	OCH_3	H	532
Petunidin	H	OCH_3	OH	543
Malvidin	H	OCH_3	OCH_3	542
Pelargonidin 3-glucoside	Glc	H	H	516
Cyanidin 3-glucoside	Glc	OH	H	530
Delphinidin 3-glucoside	Glc	OH	OH	543
Peonidin 3-glucoside	Glc	OCH_3	H	536
Petunidin 3-glucoside	Glc	OCH_3	OH	546
Malvidin 3-glucoside	Glc	OCH_3	OCH_3	546

ภาพที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน

Figure 3 Basic structures of anthocyanins

ที่มา : Stintzing และคณะ (2004)



ภาพที่ 4 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานิดินจำนวน 6 ชนิด ที่พบบ่อยในพืช

Figure 4 Basic six anthocyanidins occur most frequently in plants

ที่มา : Eskin (1979)

ตารางที่ 3 แอนโทไซยานิดินในผักและผลไม้บางชนิด

Table 3 Anthocyanidins found in fruits and vegetables

Fruits and vegetables	Anthocyanidins
Cranberries	Peonidin,
Apples	Cyanidin
Black currants	Cyanidin and Delphinidin
Blueberries	Cyanidin, Delphinidin, Malvidin and Peonidin
Red cabbages	Cyanidin
Cherries	Cyanidin and Peonidin
Oranges	Cyanidin and Delphinidin
Plums	Cyanidin and Peonidin
Radishes	Pelargonidin
Raspberries	Cyanidin
Strawberries	Pelargonidin and Cyanidin
Grapes	Malvidin, Delphinidin, Cyanidin, Peonidin, Petunidin and Pelargonidin

ที่มา : Deman (1990)

สำหรับแอนโทไซยานินที่พบมากในพืชชนิดต่างๆ นั้น มีประมาณ 16 ชนิด และมีเพียง 6 ชนิดเท่านั้นที่พบได้ทั่วไปในผักและผลไม้ ตัวอย่างของแอนโทไซยานินในผลไม้บางชนิด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545ก) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แอนโทไซยานินที่พบในผลไม้

Table 4 Anthocyanins found in fruits

Fruits	Anthocyanins
Apples	Cyanidin 3-galactoside
	Cyanidin 3-arabinoside
	Cyanidin 7- arabinoside
Cherries	Cyanidin 3-rutinoside
	Cyanidin 3-glucoside
	Cyanidin 3-gentiobioside
	Peonidin 3-glucoside
	Peonidin 3- rutinoside
Cranberries	Cyanidin 3-galactoside
	Peonidin 3- galactoside
	Cyanidin 3-arabinoside
	Peonidin 3-arabinoside
Grapes	Delphinidin 3-5-diglucoside
	Petunidin 3-glucoside
	Malvidin 3-glucoside
	Malvidin 3-5-diglucoside
	Cyanidin 3-glucoside
	Peonidin 3-glucoside
	Kaempferol 3-glucoside

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Table 4 (continued)

Fruits	Anthocyanins
Grapes	Quercetin 3-glucoside
	Myricetin 3-glucoside
	Delphinidin 3-glucoside
	Peonidin 3-5-diglucoside
Strawberries	Quercetin 3-glucoside
	Kaempferol 3-glucoside
	Pelargonidin 3-glucoside
	Cyanidin 3-glucoside
Black currants	Cyanidin 3-glucoside
	Cyanidin 3-rutinoside
	Delphinidin 3-glucoside
	Delphinidin 3-rutinoside
Raspberries	Cyanidin 3-glucoside
	Cyanidin 3-5-diglucoside
	Cyanidin 3-diglucoside
	Cyanidin 3-rhamnoglucoside-5-glucoside

ที่มา : Deman (1990)

2.1 แอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดงประกอบด้วยเม็ดสีแอนโทไซยานินจำนวนมาก กระเจี๊ยบแดงเป็นแหล่งที่มีความสำคัญของการผลิตแอนโทไซยานินในธรรมชาติแหล่งหนึ่ง ซึ่งแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Du and Francis, 1973; Tsai *et al*., 2002)

Forsyth และ Simmonds (1954 อ้างโดย Mazza และ Miniati, 1993) รายงานว่าแอนโทไซยานิดินของกระเจี๊ยบแดง คือ ไซยานิดิน และ เดลฟินิดิน โดยใช้วิธีธินเลเยอร์โครมาโตกราฟี (Thin layer chromatographic) และโครมาโตกราฟีแบบกระดาษ (paper chromatographic)

แยกสีแดงจากกระเจี๊ยบแดง ตามวิธีของ Du และ Francis (1973) พบว่า กระเจี๊ยบแดงประกอบด้วยแอนโทไซยานินทั้งหมด 4 ชนิด คือ เดลฟินิดิน 3-แซมบูไบโอไซด์ (delphinidin 3-sambubioside) เดลฟินิดิน 3-ไซโลซิลกลูโคไซด์ (delphinidin 3-xylosylglucoside) หรือ ไฮบิสซิล (hybiscin) และไซยานิดิน 3-แซมบูไบโอไซด์ (cyanidin 3-sambubioside) ไซยานิดิน 3-ไซโลซิลกลูโคไซด์ (cyanidin 3-xylosylglucoside) หรือ กอสสิไพไซยานิน (gossypicyanin) ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบในกระเจี๊ยบแดงส่วนแอนโทไซยานิน ที่พบรองลงมาคือ เดลฟินิดิน 3-กลูโคไซด์ (delphinidin 3-glucoside) และไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ (cyanidin 3-glucoside) ซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดรายงานในรูปของเดลฟินิดิน 3-กลูโคไซด์ เท่ากับ 1.50 กรัม/100 กรัมของกระเจี๊ยบแดงแห้ง

Wong และคณะ (2002) ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพของกระเจี๊ยบแดงสด โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงสด โดยใช้วิธี HPLC (High Performance Liquid Chromatographic) ตามวิธีของ Ancos และคณะ (2000) พบว่าในกระเจี๊ยบแดงสดมีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด เดลฟินิดิน 3-แซมบูไบโอไซด์ ไซยานิดิน 3-แซมบูไบโอไซด์ และเดลฟินิดิน 3-กลูโคไซด์ ปริมาณเท่ากับ 71.40%, 26.60% และ 2.00% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Pouget และคณะ (1990) ได้วิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงสด โดยใช้วิธี HPLC ตามวิธีของ Jackman และคณะ (1987) พบว่า กระเจี๊ยบแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินชนิดเดลฟินิดิน 3-แซมบูไบโอไซด์ และไซยานิดิน 3-แซมบูไบโอไซด์ เท่ากับ 70.90% และ 29.10% ตามลำดับ

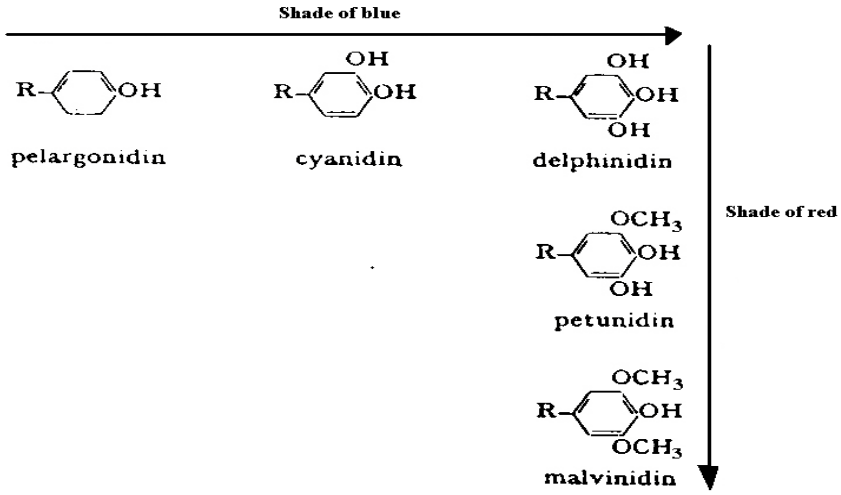
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความคงตัวของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินในเซลล์ของพืชหรือในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชนั้นไม่ค่อยเสถียร เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้สีเปลี่ยนแปลงไปด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545ก) สีและการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง แต่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน คือ โครงสร้างและค่าพีเอช อุณหภูมิ ออกซิเจน และแสงสว่าง (Jackman and Smith, 1996; Von Elbe and Schwartz, 1996) ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความคงตัวของแอนโทไซยานิน ได้แก่

2.2.1 โครงสร้างและค่าพีเอช

หากในโครงสร้างวงแหวนฟีนิล (วงแหวน B) มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่เมทอกซิล ($-OCH_3$) เพิ่มขึ้น จะมีผลต่อสีและความคงตัวของแอนโทไซยานิน คือ การเพิ่ม

ขึ้นของหมู่ ไฮดรอกซิลจะทำให้ความคงตัวของแอนโทไซยานินลดลง เฉดสีจะเข้มขึ้น และเฉดสีจะเปลี่ยนแปลงเป็นเฉดสีน้ำเงินมากขึ้นด้วย ในขณะที่การเพิ่มขึ้นหมู่เมทอกซิล จะทำให้ความคงตัวของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น โดยทำให้มีเฉดสีแดงเพิ่มขึ้น (Von Elbe and Schwartz, 1996; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545ก) ดังแสดงในภาพที่ 5



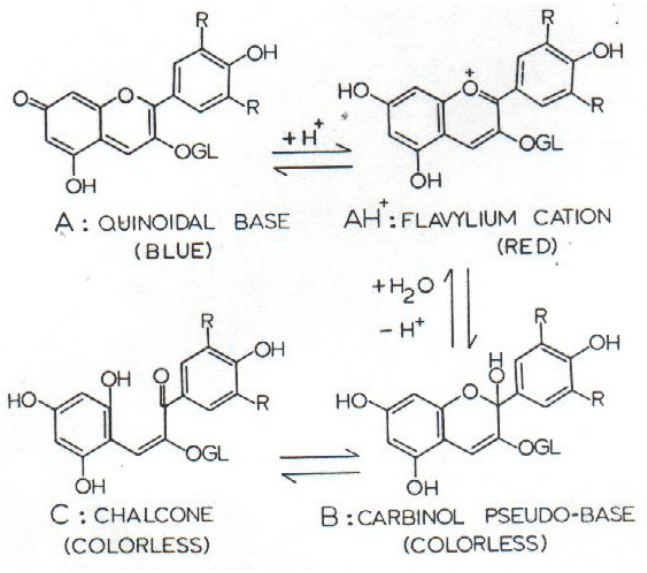
ภาพที่ 5 ผลของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่เมทอกซิล (-OCH_3) ที่มีผลต่อสีของแอนโทไซยานิน

Figure 5 Effect of hydroxyl (-OH) and methoxyl (-OCH_3) on color of anthocyanins

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545ก)

ในธรรมชาติแอนโทไซยานินจะมีโครงสร้างอยู่ 4 รูป คือ ควินอยดอล เบส (quinoidal base) ภาพที่ 6-A ฟลาวิเลียมแคทไอออน (flavylium cation) ภาพที่ 6-AH^+ คาร์บินอล ซูโดเบส (carbinol pseudobase) ภาพที่ 6-B และแคลโคน (chalcone) ภาพที่ 6-C แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช คือ เมื่อค่าพีเอชอยู่ในช่วงต่ำกว่า 2.00 แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของฟลาวิเลียมแคทไอออน ภาพที่ 6-AH^+ จะมีสีแดง แต่เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว (ค่าพีเอช 6.00-8.00) จะเกิดการสูญเสียโปรตอนขึ้น แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของควินอยดอล เบส ภาพที่ 6-A มีสีฟ้า แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชต่ำกว่า 2.00 อีกครั้งโปรตอนจะเข้ามาเกาะ (protonate) กลับมาอยู่ในรูปของฟลาวิเลียมแคทไอออน ภาพที่ 6-AH^+ จะมีสีแดงอีกครั้ง เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนรูปจาก ฟลาวิเลียมแคทไอออน ภาพที่ 6-AH^+ จะมีสีแดง มาอยู่ในรูปของคาร์บินอล ซูโดเบส ภาพที่ 6-B ไม่มีสี ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.00-6.00 และเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลง

โครงสร้าง จากรูปคาร์บินอล ซูโดเบส ภาพที่ 6-B ไม่มีสี มาอยู่ในรูปแคลโคน ภาพที่ 6-C ไม่มีสี ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.00-5.00 เกิดการเปิดออกของวงแหวน C (Francis, 1985; Mazza and Miniati, 1993; Jackman and Smith, 1996) ดังแสดงในภาพที่ 6

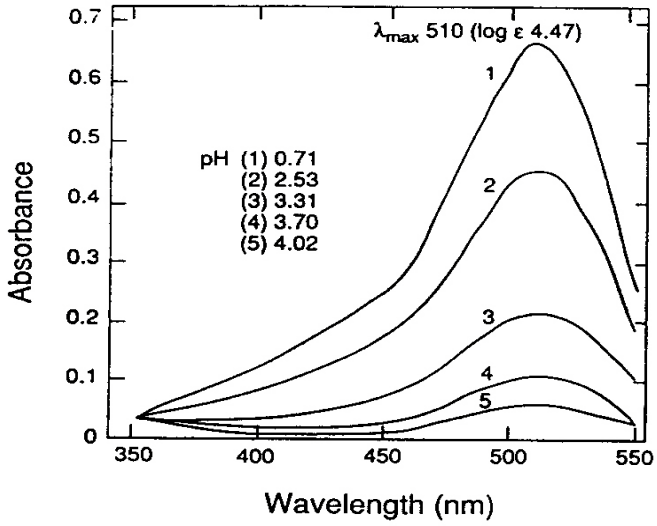


ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมัลวิดิน 3-กลูโคไซด์ที่ระดับค่าพีเอชต่างๆ

Figure 6 Structural changes of malvidin 3-glucoside at different pH levels

ที่มา: Francis (1985)

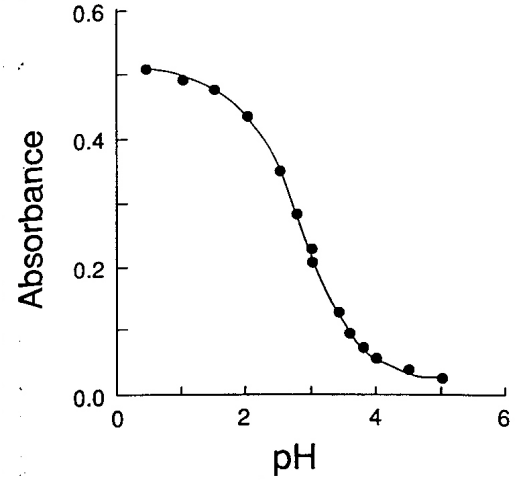
ผลของค่าพีเอช ที่มีผลต่อสีแอนโทไซยานิน แสดงเป็นค่าการดูดกลืนแสง ของไซยานิดิน 3-แรมโนกลูโคไซด์ (cyanidin 3-rhamnoglucoside) ในสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ระดับค่าพีเอชต่างๆ ในช่วง 0.71- 4.02 ดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าลดลงเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินในน้ำแครนเบอร์รี่มีค่าการดูดกลืนแสงลดลง เมื่อ ค่าพีเอชสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8 (Von Elbe and Schwartz, 1996) ส่วนความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสง (λ_{max}) มีการแปรผันตามค่าพีเอชด้วย กล่าวคือ ความยาวคลื่นสูงขึ้น (bathochromic shift) เมื่อค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น (Counsell, 1981) ดังแสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 7 การดูดกลืนแสงของไซยานิดิน 3-แรมโนกลูโคไซด์ที่ความยาวคลื่นในช่วง 350-550 นาโนเมตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ระดับค่าพีเอช 0.71, 2.53, 3.31, 3.70 และ 4.02

Figure 7 Absorbance of cyanidin 3-rhamnoglucoside at wavelength 350-550 nm in buffer solutions at pH 0.71, 2.53, 3.31, 3.70 and 4.02

ที่มา : Von Elbe and Schwartz (1996)



ภาพที่ 8 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำแครนเบอร์รี่ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ระดับค่าพีเอชตั้งแต่ 0.50 – 5.00

Figure 8 Absorbance of cranberry juice at wavelength 530 nm in buffer solutions at pH 0.50 – 5.00

ที่มา: Von Elbe and Schwartz (1996)

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุดและเฉดสีของแอนโทไซยานินที่ค่าพีเอชช่วงต่างๆ

Table 5 Absorption maximum and shade of color changes of anthocyanins at different pH levels

pH	Absorption maximum (nm)	Shade color of anthocyanins
4.00	520	Red
4.00-6.00	525-550	Violet red to Violet blue
6.50	570-575	Blue
9.00	590-600	Blue

ที่มา : Counsell (1981)

Ebeling และคณะ (1996) ได้ศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินของผลพลัม โดยนำผลพลัมมาใส่ถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน 2 ชั้น แล้วนำไปแช่ในซูโครสไซรัป (a_w= 0.98) ที่มีค่าพีเอชแตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 แช่ในซูโครสไซรัปที่มีค่าพีเอช 2.95 กลุ่มที่ 2 แช่ในซูโครสไซรัปที่มีค่าพีเอช 3.45 และกลุ่มที่ 3 แช่ในซูโครสไซรัปที่มีค่าพีเอช 3.95 โดยแช่ในอัตราส่วนของผลพลัมต่อซูโครสไซรัปเท่ากับ 1 ต่อ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยทำการเปลี่ยนถุงพลาสติกที่ใช้ใส่ผลพลัมทุก 1 สัปดาห์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ค่าพีเอชมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินของผลพลัมในระหว่างการเก็บรักษา คือ ผลพลัมที่แช่ในซูโครสไซรัปที่มีค่าพีเอช 2.95, 3.45 และ 3.95 วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) ปริมาณแอนโทไซยานินแสดงในรูปของไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานินของผลพลัมเหลืออยู่เมื่อเทียบกับปริมาณแอนโทไซยานินของผลพลัมสด เท่ากับ 77.00%, 29.00% และ 8.00% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าซูโครสไซรัปที่มีค่าพีเอช 2.95 มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินของผลพลัมมีความคงตัวสูงสุด คือ 77.00% เมื่อเทียบกับปริมาณแอนโทไซยานินของผลพลัมสด ทั้งนี้เนื่องจากซูโครสไซรัปที่มีค่า พีเอช 2.95 แอนโทไซยานินอยู่ในรูปของฟลาวิเลียมแคทไอออนจะมีสีแดง มีความคงตัวสูง แต่จะเปลี่ยนโครงสร้างมาอยู่ในรูปของแคลโคนไม่มีสี ในสภาวะที่ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.00-5.00 Brouillard (1982 อ้างโดย Ebeling *et al*., 1996)

2.2.2 อุณหภูมิ

Von Elbe and Schwartz (1996) รายงานว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวอุณหภูมิในกระบวนการผลิตและอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา

Jackman and Smith (1996) รายงานว่า การใช้อุณหภูมิสูงแต่เวลาสั้นในระหว่างการผลิตจะทำให้สีของแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์อาหารยังคงมีปริมาณมาก เนื่องจากการใช้เวลาสั้นจะไม่ทำให้แอนโทไซยานินถูกทำลาย หรือจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน

Skrede and Wrolstad (2002) ได้ศึกษาค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในน้ำสตรอเบอรี่ ซึ่งค่าครึ่งชีวิต คือ เวลาที่ใช้เพื่อให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเริ่มต้นในน้ำสตรอเบอรี่ พบว่า ที่อุณหภูมิ 20.0^{0}ซ, 38.0^{0}ซ และ 100.0^{0}ซ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 1,300.0 ชั่วโมง, 240.0 ชั่วโมง และ 1.0 ชั่วโมง ตามลำดับ จากการทดลองนี้สามารถสรุปว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 20.0^{0}ซ เป็น 100.0^{0}ซ ทำให้ค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในน้ำสตรอเบอรี่ลดลงจาก 1,300.0 ชั่วโมง เป็น 1.0 ชั่วโมง

Wicklund และคณะ (2005) ศึกษาผลของความคงตัวของแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ และ 20.0^{0}ซ โดยนำผลสตรอเบอรี่ที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20.0^{0}ซ เป็นเวลา 2 เดือน จำนวน 4.0 กิโลกรัม มาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาที นำไปใส่ในหม้อแสตนเลสเติมน้ำ 400 มิลลิลิตร เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 10.0^{0}ซ เติมน้ำตาล 4.7 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากัน แล้วให้ความร้อน 80.0^{0}ซ หลังจากนั้นเติมสารละลายเพกตินที่เตรียมโดยใช้เพกติน 60.0 กรัมในน้ำ 700 มิลลิลิตร และให้ความร้อน 90.0^{0}ซ เป็นเวลา 3 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเป็น 80.0^{0}ซ เติมโซเดียมเบนโซเอท 3.0 กรัม โพแทสเซียมซอร์เบท 4.0 กรัม และกรดซิตริก 140.0 กรัม คนให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที ลดอุณหภูมิลงเป็น 60.0^{0}ซ หลังจากนั้นนำไปใส่ในขวดแก้ว แล้วทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 15.0^{0}ซ เป็นเวลา 2.0 ชั่วโมง นำไปเก็บไว้ในตู้เย็น 4.0^{0}ซ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนที่จะนำไปศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอรี่ โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ และ 20.0^{0}ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) โดยใช้ความแตกต่างของการวัดการดูดกลืนแสง ที่ระดับค่าพีเอช 2 ระดับ คือ ค่าพีเอช 1.00 และค่าพีเอช 4.50 วัดการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร และใช้สูตรในการคำนวณ คือ

การดูดกลืนแสง (A) = $\left[(A_{520}-A_{700})_{pH1.0}-(A_{520}-A_{700})_{pH4.5}\right]$

ปริมาณแอนโทไซยานิน = (A x MW x Dilution factor (DF) x 1000)/ (Molar absorptivity x 1)

เมื่อ Molecule weight (MW) = 433.2 กรัม/โมล Molar absorptivity = 22,400

ปริมาณแอนโทไซยานินแสดงในรูปของพีลาร์โกนิดิน 3-กลูโคไซด์ (pelargonidin 3-glucoside) เมื่อคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอรี่ที่ได้ต้องคูณด้วย 2.5 ด้วยเพราะผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอรี่ที่ผลิตได้นั้นมีผลสตรอเบอรี่อยู่ 40.00% ดังนั้นเมื่อต้องการคำนวณเป็นผลสตรอเบอรี่ 100.00% ในผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอรี่จึงต้องคูณด้วย 2.5 และจากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 29.40 มิลลิกรัม/100 กรัมของผลสตรอเบอรี่สด ซึ่งมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20.0^{0}ซ โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 11.20 มิลลิกรัม/100 กรัมของผลสตรอเบอรี่สด

Aina และ Shodipe (2006) ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินจากน้ำกระเจี๊ยบแดง โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 5.0^{0}ซ และ 27.0^{0}ซ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วนำมาหาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) พบว่า การเก็บรักษาน้ำกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 5.0^{0}ซ มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 7.23 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำกระเจี๊ยบแดง ส่วนการเก็บรักษาน้ำกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 27.0^{0}ซ มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 4.13 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำกระเจี๊ยบแดง ดังนั้นอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5.0^{0}ซ ทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27.0^{0}ซ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นบรรจุในขวดแก้วขนาด 70 มิลลิลิตร โดยศึกษาอุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 ระดับ คือ 4.0 ± 1.0^{0}ซ และ 27.0 ± 1.0^{0}ซ เก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน

2.2.3 ออกซิเจน

ออกซิเจนเป็นสาเหตุที่ทำให้แอนโทไซยานินถูกทำลายได้เร็วขึ้น โดยเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) (นัยวิท เฉลิมนนท์, 2538; Jackman and Smith, 1996; Von Elbe and Schwartz, 1996)

Von Elbe and Schwartz (1996) ได้ศึกษาน้ำอุ่นบรรจุขณะร้อนในขวดแก้ว ซึ่งการบรรจุขณะร้อนในขวดแก้วเป็นการทำให้ช่องว่างเหนือน้ำอุ่นที่บรรจุในขวดแก้ว (headspace)

เกิดสภาวะสุญญากาศ จากการศึกษาพบว่าสีของน้ำองุ่นเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีม่วงเป็นสีน้ำตาลมีการเปลี่ยนแปลงช้าลง ออกซิเจนจะทำให้สีของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้จึงต้องผลิตภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Von Elbe and Schwartz, 1996) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบควรเลือกบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน เพื่อป้องกันไม่ให้แอนโทไซยานินถูกทำลายเนื่องจากออกซิเจนในระหว่างการเก็บรักษาและระหว่างการจำหน่าย (Skrede and Wrolstad, 2002)

2.2.4 แสงสว่าง

แสงสว่างเป็นตัวเร่งให้แอนโทไซยานินถูกทำลายเร็วขึ้น (Jackman and Smith, 1996; Von Elbe and Schwartz, 1996)

Sankat และคณะ (2000) ได้ศึกษาผลของแสงสว่างที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินที่ผิวของผลทับทิม โดยแบ่งผลทับทิมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เก็บรักษาผลทับทิมที่อุณหภูมิ 5.0^{0}ซ ในที่มืด ส่วนกลุ่มที่ 2 เก็บรักษาผลทับทิมที่อุณหภูมิ 5.0^{0}ซ ในที่มีแสง ฟลูออเรสเซนต์ ที่ความสว่าง 153.7 ลักซ์ โดยทั้ง 2 กลุ่มทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน เมื่อครบ 30 วันแล้วจึงนำผลทับทิมมาแยกเอาเฉพาะผิวของผลทับทิมจำนวน 0.1 กรัม มาสกัดด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0% ในเมทานอลจำนวน 50 มิลลิลิตร ผสมกันแล้วนำมาใส่ในเครื่องปั่นปั่นเป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นนำมากรอง เอาเฉพาะส่วนใสของสารสกัดผิวผลทับทิมมา 10 มิลลิลิตร มาวัดค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานิน โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร และได้นำสารสกัดของผิวผลทับทิมสดหลังการเก็บเกี่ยวทันทีมาวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.642 ในสภาวะการเก็บรักษาผลทับทิมที่มีแสงฟลูออเรสเซนต์วัดค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินลดลงเหลือเท่ากับ 0.019 ส่วนสภาวะการเก็บรักษาผลทับทิมในที่มืดค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินลดลงเช่นกันแต่มีอัตราการสลายตัวต่ำกว่าสภาวะที่มีแสง วัดการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินได้เท่ากับ 0.166 ดังนั้นการเก็บรักษาผลทับทิมที่อุณหภูมิ 5.0^{0}ซ ในที่มืด มีค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5.0^{0}ซ ในที่มีแสงฟลูออเรสเซนต์

2.2.5 Intermolecular Copigmentation

เป็นปรากฏการณ์การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานินกับสารประกอบอื่นๆ เช่น ฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล กรดอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็น copigment แล้วทำให้สีของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ แอนโทไซยานินเองยังทำ

หน้าที่เป็น copigment ได้เช่นกัน สีของแอนโทไซยานินที่เปลี่ยนแปลงไป ขึ้นอยู่กับ ชนิดและความเข้มข้นของแอนโทไซยานินและ copigment (Mazza and Miniati, 1993) และนอกจากนี้แล้ว อุณหภูมิและค่าพีเอชของสารสกัดก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีของแอนโทไซยานินได้เช่นกัน (Harborne, 1988)

2.3 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

2.3.1 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่เพื่อให้ประจุไฟฟ้าเกิดความสมดุล โดยมากเกิดจากกระบวนการการใช้ประโยชน์ของออกซิเจนในการเผาผลาญเพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในร่างกายตามปกติ สาเหตุของความเสียหายจากอนุมูลอิสระเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวถูกปล่อยออกมาเกิดอนุมูลอิสระของออกซิเจน อนุมูลอิสระจึงดึงเอาอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่น โมเลกุลที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปจะกลายเป็นอนุมูลอิสระแทน ทำให้เกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ต่อไปโดยไม่รู้จบ เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งทำให้เสียหายเป็นวงกว้าง ถ้าโมเลกุลที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปเป็นเอนไซม์หรือฮอร์โมนก็เกิดการสูญเสียหน้าที่ เกิดฮอร์โมนทำงานมากหรือน้อย ถ้าเป็นเนื้อเยื่อของเซลล์เยื่อบุหลอดเลือดก็เกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว (Atherosclerosis) เกิดโรคความดันเลือดสูง โรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน (Coronary heart disease) โรคเส้นเลือดสมองอุดตัน ถ้าเป็นเนื้อเยื่อของเลนส์ตาก็เกิดต้อกระจก ถ้าเป็นเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังก็เกิดรอยเหี่ยวย่นก่อนวัย ถ้าเป็นเนื้อเยื่อข้อต่อและกระดูกก็เกิดข้อเสื่อม ปวดข้อและเข่า ถ้าเกิดกับเซลล์เม็ดเลือดขาวก็ทำให้ระบบภูมิต้านทานทำงานมากเกินไปหรือน้อยเกินไปเป็นเหตุให้ภูมิต้านทานต่ำ ติดเชื้อง่ายหรือภูมิต้านทานไว โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด ถ้าเกิดกับโมเลกุลดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ในการสร้างเซลล์ใหม่ เซลล์ที่สร้างขึ้นก็ไม่สมบูรณ์ เป็นที่มาของโรคมะเร็งในที่สุด ในวงการแพทย์เรียกโรคเหล่านี้ว่ากลุ่มโรคจากอนุมูลอิสระ ตัวอย่างอนุมูลอิสระได้แก่ อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot}$: Superoxide anion) อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$: Hydroxyl radical) อนุมูลเพอร์ออกซี ($ROO^{\cdot}$: Peroxy radical) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2: Hydrogen peroxide) (พรทิพย์ วิรัชวงศ์, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ โพรออกซิเดนท์ (M^{n+}) เป็นโลหะทรานซิชันที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 2-3 ตัว และมีศักยภาพในการเป็นทั้งตัวรับหรือให้อิเล็กตรอน มีสมบัติเป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เหล็ก ทองแดง แมงกานีส เป็นต้น โพรออกซิเดนท์จำนวนเพียงเล็กน้อย (ส่วนในล้านส่วน) สามารถเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ส่วนกลไกการทำงานของโลหะที่เป็นตัวเร่งมีหลายแบบดังนี้ (Nawar, 1996)

แบบที่ 1 เร่งการแตกตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์

$$M^{n+} + ROOH \rightarrow M^{(n+1)} + OH^{-} + RO^{\cdot}$$

$$M^{n+} + ROOH \rightarrow M^{(n+1)} + H^{+} + RO^{\cdot}$$

แบบที่ 2 ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น

$$M^{n+} + RH \rightarrow M^{(n+1)} + H^{+} + R^{\cdot}$$

แบบที่ 3 กระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนให้เกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี

นอกจากนี้ ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ แสงสว่าง และเอนไซม์ เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นกัน พรทิพย์ วิรัชวงศ์ (2546) รายงานว่า ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน จะเกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนร่วมอยู่ด้วย ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวและในสภาวะที่มีออกซิเจนและแสงสว่าง อาหารที่มีอนุมูลเหล็กและคลอโรฟิลล์สามารถเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันได้รวดเร็วขึ้น อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนระบบที่สัมผัสกับแสงสว่างพบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่สัมผัสกับแสงสว่าง นอกจากนี้ เอนไซม์ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอยู่ในธรรมชาติ ได้แก่ เอนไซม์ไลโปซีจีเนสสามารถออกซิไดส์กรดไขมันไม่อิ่มตัว

2.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) หมายถึง สารที่ยับยั้งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระและป้องกันไม่ให้เกิดการดึงอิเล็กตรอนตั้งแต่ตำแหน่งแรก โดยทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระแล้วทำให้อนุมูลอิสระหมดความสามารถที่จะไปทำลายหรือเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของเซลล์ (พรทิพย์ วิรัชวงศ์, 2546) สารต้านอนุมูลอิสระเป็นกลุ่มของสารอาหารที่มีมากมายหลายชนิด เช่น กลุ่มของวิตามินเอรวมถึงเบต้าแคโรทีน วิตามินซีและวิตามินอี รวมเรียกว่าแอนติออกซิแดนท์วิตามิน (antioxidant vitamins) เกลือแร่และเอนไซม์ เอนไซม์หลักที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ซุปเปอร์ออกไซด์ ดิสมูเทรส (superoxide dismutase) กลูทาไทโอน เพอร์ออกไซด์ (glutathione peroxide) และ เคทาเลส (catalase) (ปิติ เลาหบูรณะกิจ, 2540)

กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ พบได้สี่ลักษณะ ดังนี้ การกำจัดอนุมูลอิสระ (radical scavenger) โดยการให้อะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอัตราการเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจะเร็วกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น ไม่ว่าจะเป็นไขมัน หรือโปรตีน ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันหยุดชะงักลง ดังแสดงในปฏิกิริยาต่อไปนี้

การให้ไฮโดรเจน

$ROO^{\cdot} + AH_2 \rightarrow ROOH + AH^{\cdot}$

$RO^{\cdot} + AH_2 \rightarrow ROH + AH^{\cdot}$

$AH^{\cdot} + AH^{\cdot} \rightarrow A + AH_2$

การให้อิเล็กตรอน

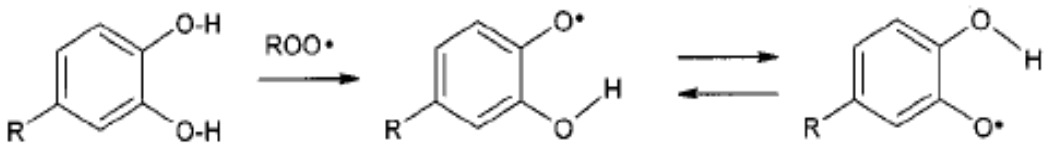
$ROO^{\cdot} + AH \rightarrow (AH_2\text{-}ROO)^{\cdot}$

$(AH_2\text{-}ROO)^{\cdot} + R \rightarrow$ stable product

การทำลายอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy decomposer) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibitor) เอนไซม์บางชนิดมีความสามารถเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัว เช่น ไลโพซีจิเนส (lipoxygenase) และการเสริมฤทธิ์ (synergist) สารต้านอนุมูลอิสระโดยทำหน้าที่ได้สองแบบ คือ จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelating agent) เช่น เหล็ก ทองแดง และเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทไฮโดรเจนอะตอม

2.4 แอนโทไซยานินกับคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

Pedrielli และคณะ (2001) รายงานว่า แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ และได้ศึกษากลไกการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า โครงสร้างฟลาโวนอยด์ที่วงแหวน B (วงแหวนเบนโซไพแรน) มีพันธะโฮโดรเจนอยู่ที่ 3′ , 4′ catechol โดยมีกลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ คือ กำจัดอนมูลอิสระ โดยการให้ไฮโดรเจน แก่อนุมูลอิสระ ($ROO^{\cdot}$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอัตราการเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจะเร็วกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น ทำให้ปฏิกิริยาหยุดชะงัก และสารประกอบที่เกิดขึ้นดังกล่าว จะไม่เหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระเกิดขึ้นอีก ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กลไกการต้านอนุมูลอิสระของโครงสร้างฟลาโวนอยด์ที่วงแหวน B

Figure 9 Antioxidant mechanism at B ring of flavonoid structure

ที่มา : Pedrielli และคณะ (2001)

วิวัฒน์ หวังเจริญ (2545) รายงานว่า สารประกอบฟีนอล (PPH) เมื่อรวมตัวกับอนุมูลอิสระ ($ROO^{\cdot}$, $RO^{\cdot}$) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากสารประกอบฟีนอล ($PP^{\cdot}$) และอนุมูลอิสระที่เกิดจากสารประกอบฟีนอลนี้ยังสามารถไปรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีก ($ROO^{\cdot}$, $RO^{\cdot}$) จึงทำให้ลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้อีกครั้ง ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$ROO^{\cdot} + PPH \rightarrow ROOH + PP^{\cdot}$$

$$RO^{\cdot} + PPH \rightarrow ROH + PP^{\cdot}$$

$$ROO^{\cdot} + PP^{\cdot} \rightarrow ROOPP$$

$$RO^{\cdot} + PP^{\cdot} \rightarrow ROPP$$

3. การสกัดสารสำคัญและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกระเจี๊ยบแดง

3.1 การสกัดสารสำคัญของกระเจี๊ยบแดง

แอนโทไซยานินเป็นสารสำคัญที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดง (Du and Francis, 1973; Tsai *et al*., 2002) แอนโทไซยานินสามารถทำการสกัดจากพืชได้โดยใช้ตัวทำละลายพวกไฮโดรซิลิก (hydroxylic solvents) เช่น น้ำหรือเมทานอล (Wrolstad and Putnam, 1969) เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นเม็ดสีที่ละลายได้ในน้ำ ดังนั้นในการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงจึงมักใช้การสกัดด้วยน้ำ (Francis, 1975; Shrikhande, 1976) จากการทดลองของ Ibrahim และคณะ (1971) ทำการสกัดกระเจี๊ยบแดงแห้งด้วยน้ำ โดยใช้อัตราส่วนของกระเจี๊ยบแดงแห้งต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 100 (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าการสกัดด้วยน้ำสามารถสกัดแอนโทไซยานินออกมาได้มากกว่า 60.00 % ของน้ำหนักกระเจี๊ยบแดงแห้ง

นัยวิท เฉลิมนนท์ (2538) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้สีแดงธรรมชาติจากกระเจี๊ยบแดง โดยการสกัดกระเจี๊ยบแดงแห้งด้วยน้ำ แล้วนำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ตามวิธีของ Lees และ Francis (1972) แสดงปริมาณแอนโทไซยานินในรูปของไซยานิดิน 3-กาแลคโตไซด์ พบว่า อัตราส่วนกระเจี๊ยบแดงแห้งต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) อุณหภูมิในการสกัด 60.0^{0}ซ ระยะเวลาในการสกัด 80 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำ เนื่องจากสามารถสกัดปริมาณแอนโทไซยานินได้ปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 277.67 มิลลิกรัม/100 กรัมของกระเจี๊ยบแดงแห้ง

Wong และคณะ (2002) ได้ศึกษาคุณลักษณะของกายภาพ เคมี ของกระเจี๊ยบแดงโดยการสกัดกระเจี๊ยบแดงสดด้วยน้ำ เมื่อใช้กระเจี๊ยบแดงสด 20.0 กรัม สกัดด้วยน้ำ 80 มิลลิลิตร

แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) แล้วคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินในรูปของเดลฟินิดิน 3-กลูโคไซด์ พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 2.52 กรัม/100 กรัมของกระเจี๊ยบแดงสด

Heureux-Calix และ Badrie (2004) ได้ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคและคุณภาพทางกายภาพและเคมีของซอสกระเจี๊ยบแดง โดยการสกัดกระเจี๊ยบแดงให้เป็นเพียวเร่เพื่อใช้ในการผลิตซอสกระเจี๊ยบแดง เปรียบเทียบการสกัดสองวิธี คือ การสกัดเพียวเร่กระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำโดยใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 100.0^{0}ซ นาน 40 นาที และการสกัดเพียวเร่กระเจี๊ยบแดงด้วยเอนไซม์ พบว่าให้ร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 50.00 % และ 94.50 % ตามลำดับ การใช้เอนไซม์ในการสกัดเพียวเร่กระเจี๊ยบแดงเพื่อใช้ในการผลิตซอสให้ร้อยละของผลผลิตที่มากกว่าการสกัดเพียวเร่กระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำ แต่การใช้เอนไซม์ในการสกัดเพียวเร่กระเจี๊ยบแดงใช้ต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า

Aina และ Shodipe (2006) ได้ศึกษาสภาวะในการสกัดกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำโดยใช้กระเจี๊ยบแดงแห้ง 20.0 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร โดยศึกษาอุณหภูมิในการสกัด 3 ระดับ คือ 20.0^{0}ซ, 60.0^{0}ซ และ 100.0^{0}ซ และเวลาในการสกัด 5 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 100.0^{0}ซ นาน 20 นาที ให้ปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดเท่ากับ 53.00 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงแห้ง

3.2 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกระเจี๊ยบแดง

Tee และคณะ (2002) ได้ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงโดยสกัดด้วยเมทานอล แล้วทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระกับบิวทิเลเตตไฮดรอกซีอะนิโซล (BHA) และแอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) พบว่า สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าบิวทิเลเตตไฮดรอกซีอะนิโซลและแอลฟา-โทโคเฟอรอล สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่มีความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40.0^{0}ซ เป็นเวลา 7 วัน สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้มากกว่า 85% และสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 2.96 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ดังนั้นสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงจึงมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี

Sukhapat และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง โดยทำการต้มกระเจี๊ยบแดงสดด้วยน้ำแล้วนำสารสกัดที่ได้มาทำให้แห้งโดยวิธีทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum dry) แล้วตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงโดยวิธี Free-Radical Scavenging DPPH (DPPH) และตรวจสอบสาร

ประกอบฟีนอล พบว่า ผลของค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง โดยการใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในการปรับค่าพีเอช ช่วงระหว่าง ค่าพีเอช 2.00 ถึงค่าพีเอช 7.00 การสกัดกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำแสดงค่าของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเป็น EC_{50} (Efficient Concentration) หมายถึง ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ DPPH ลดลง 50 % เท่ากับ 18.54 ± 1.53 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 4.13 ± 0.52 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง และพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงขึ้นอยู่กับค่าพีเอช โดยกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น

Chirunthorn และคณะ (2004) ได้ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ใช้วิธีการเตรียมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่แตกต่างกันสามวิธี คือ สกัดด้วยเอทานอล สกัดด้วยน้ำแล้วทำให้แห้งแบบสุญญากาศ และสกัดด้วยน้ำแล้วทำให้แห้งแบบพ่นฝอยโดยให้อุณหภูมิสารสกัดในการป้อนเข้าเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีอุณหภูมิเท่ากับ 51.0^{0}ซ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 198.5^{0}ซ อุณหภูมิลมร้อนขาออกเท่ากับ 98.0^{0}ซ กระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยน้ำแล้วทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด รองลงมาคือกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยน้ำแล้วทำให้แห้งแบบสุญญากาศ และสุดท้ายคือกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอล ซึ่งมีค่า EC_{50} เท่ากับ 11.30, 15.10 และ 73.90 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การสกัดกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าการสกัดกระเจี๊ยบแดงด้วย เอทานอล

4. กรรมวิธีการทำให้เข้มข้น

4.1 การระเหยน้ำ

การระเหยน้ำ (evaporation) เป็นกระบวนการผลิตอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับกรรมวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตรโดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีอยู่ในรูปของของเหลว (liquid foods) มีเป็นจำนวนมาก วัตถุดิบจำพวกอาหารเหลวเหล่านั้นส่วนใหญ่จะมีน้ำปริมาณสูง ทำให้มีปริมาณเนื้อสารอาหารที่จำเป็นต่ำและมีปริมาตรสูง ดังเช่น น้ำผลไม้ต่าง ๆ ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา การขนส่ง หรือการนำไปใช้ประโยชน์ในบางกรณี การทำให้อาหารเหลวเหล่านั้นมีความเข้มข้นมากขึ้นโดยใช้กระบวนการระเหยน้ำจะทำให้อาหารเหลวมีปริมาณเนื้อสารอาหารมากขึ้นได้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้น (concentrated liquid foods) ที่สะดวกต่อการใช้

ประโยชน์หรือเหมาะสมต่อการแปรรูปในขั้นต่อไป ในกระบวนการผลิตอาหารเหลวเข้มข้นโดยวิธีการระเหยน้ำนั้นจะต้องระวังและควบคุมไม่ให้มีการสูญเสียองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารเหลว ต้องควบคุมให้น้ำเท่านั้นที่ระเหยแยกออกไป โดยเฉพาะกลิ่นรสเฉพาะของอาหารเหลวจะต้องคงอยู่หรือสูญเสียไปน้อยที่สุด (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535)

การระเหยน้ำ หมายถึง การทำให้น้ำในอาหารเหลวใดๆ หรือสารละลายใดๆ ร้อนขึ้นและระเหยกลายเป็นไอแยกออกไปจากอาหารเหลวหรือสารละลาย ดังนั้นกระบวนการระเหยน้ำถ้าไม่คำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้แล้ว สามารถกระทำได้โดยง่ายอาจจะโดยการนำสารละลายหรืออาหารเหลวนั้นๆ ต้มให้ร้อนจนถึงจุดเดือดของน้ำ ให้น้ำระเหยกลายเป็นไอแยกออกไป ทำให้ได้สารละลายเข้มข้น อย่างไรก็ดีในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นจะต้องรักษากลิ่นรส และองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารไว้ไม่ให้สูญเสียไประหว่างกระบวนการระเหยน้ำ เนื่องจากความร้อนสูงๆ จะทำลายกลิ่นรส วิตามิน และสารระเหยในอาหาร การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นช่วยลดปริมาตรของอาหารเหลว น้ำหนักและประหยัดค่าใช้จ่ายในการบรรจุ สะดวกในการขนส่งและการเก็บรักษาด้วย (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535)

4.2 หลักการระเหยน้ำ

การทำให้เข้มข้นของอาหารเหลวโดยการระเหยน้ำอิสระ (free water) ที่มีอยู่ในอาหารเหลวจะถูกแยกออกไป สารอาหารหรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ ยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นมีปริมาณมากขึ้น โดยมีหลักการทำงาน คือ ทำให้อุณหภูมิของอาหารเหลวสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด จากนั้นรักษาอุณหภูมิไว้ในช่วงเวลาที่จะทำให้อุณหภูมิของอาหารเหลวสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด จากนั้นรักษาอุณหภูมินั้นไว้ในช่วงเวลาที่จะทำให้น้ำระเหยออกไปจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ แต่จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ซึ่งจะเดือดที่ 100.0^{0}ซ หรือ 212.0^{0}ฟ ขึ้นกับความสูงของระดับน้ำทะเล น้ำในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทำให้จุดเดือดของน้ำเปลี่ยนไป (ภาคผนวกที่ ข-1) อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยจึงต่างจากจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ โดยทั่วไปนิยมทำการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศโดยเครื่องระเหยน้ำสุญญากาศ (vacuum evaporator) ซึ่งจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่มีคุณภาพและกลิ่นรสดีมากขึ้น (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535)

4.3 การระเหยน้ำและการทำให้เข้มข้นแบบสุญญากาศ

ปกติการเดือดของน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อความดันไอของน้ำมีค่าเท่ากับความดันทั้งหมดบนพื้นผิวของน้ำ ที่ความดันบรรยากาศปกติเท่ากับ 76 เซนติเมตรปรอท น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100.0^{0}ซ แต่เมื่อความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งเรียกว่า ความดันสุญญากาศ น้ำจะเดือด

ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100.0^{0}ซ (เกษม ปราบริปูตลุง, 2521) สำหรับการระเหยน้ำผลไม้นิยมการระเหยภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศ ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ระเหยน้ำต่ำกว่าอุณหภูมิที่ความดันบรรยากาศปกติ จึงไม่ทำให้น้ำผลไม้มีคุณภาพเสียไปเนื่องจากความร้อน วิธีนี้ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงรสชาติและสี เพราะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนน้อยมาก (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2543ก) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาวิธีที่เหมาะสมในการทำให้เข้มข้นของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยน้ำ โดยการทำให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นแบบใช้ไอน้ำภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้เครื่องระเหยน้ำสุญญากาศ จึงใช้ความดันในการทำให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นเท่ากับ 44 เซนติเมตรปรอท ซึ่งที่ความดันเท่ากับ 44 เซนติเมตรปรอท น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 85.0^{0}ซ (ภาคผนวกที่ ข-2) แต่เนื่องจาก Skrede และ Wrolstad (2002) รายงานว่า สารสกัดที่ใช้น้ำในการสกัด สามารถระเหยน้ำออกจากสารสกัดได้โดยการใช้อุณหภูมิต่ำ คือ 70.0^{0}ซ และจำเป็นต้องระเหยภายใต้สุญญากาศ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลในสารสกัด งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงเข้มข้น โดยใช้ไอน้ำภายใต้สุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70.0^{0}ซ ความดัน 44 เซนติเมตรปรอท เปรียบเทียบกับการทำให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงเข้มข้น โดยใช้ไอน้ำแบบบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 90.0^{0}ซ

การทำงานของเครื่องระเหยน้ำสุญญากาศ จะต้องมีองค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องที่จำเป็น 4 ส่วน (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535) ดังนี้

4.3.1 ถังหรือหม้อระเหย (Evaporation vessel)

ถังหรือหม้อระเหย เป็นส่วนที่ใส่อาหารเหลวที่ต้องการทำให้เข้มข้นและเป็นส่วนที่จะเกิดการระเหยน้ำ บางครั้งเรียกว่า Boiling chamber ส่วนใหญ่เป็นถังรูปทรงกระบอก มีฝาปิดสนิทที่สามารถทนความดันได้ แบบที่ใช้กันมากในระดับอุตสาหกรรมจะมีลักษณะเป็นถัง 2 ชั้น โดยระหว่างชั้นที่เป็นช่องว่างนั้นจะเป็นส่วนที่ไอน้ำจะเข้าไปหล่อเลี้ยงให้ความร้อนแก่ระบบการระเหยน้ำ เรียกว่า Double steam jacket evaporation pan ส่วนใหญ่ทำด้วยสะแตนเลส นอกจากนั้นอาจมีระบบการกวน (agitation) หรือมีใบพัดสำหรับกวน เพื่อช่วยในการกระจายความร้อน ทำให้อัตราการระเหยน้ำเร็วขึ้น

4.3.2 แหล่งกำเนิดความร้อน (Heat source)

แหล่งกำเนิดความร้อน เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่อาหารเหลว ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมจะใช้ไอน้ำ เครื่องระเหยน้ำแบบเล็ก อาจใช้ขดลวดไฟฟ้า หรือมีแหล่งให้ความร้อนจากภายนอกก็ได้ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญและจำเป็นต่อระบบการระเหยน้ำ จะต้องสามารถควบคุมปริมาณการให้ความร้อนได้ ส่วนใหญ่จะมีตัวตัดอุณหภูมิ (thermostat) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของอาหารเหลวให้อยู่ที่อุณหภูมิที่กำหนด

4.3.3 เครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องควบแน่น จะทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ระเหยออกมาจากอาหารเหลว มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกยาว ช่องว่างภายในท่อจะมีน้ำเย็นหล่อเลี้ยงไหลอยู่ภายใน เมื่อไอน้ำระเหยขึ้นมาภายในท่อทรงกระบอกได้สัมผัสกับน้ำเย็น ก็จะจับตัวเป็นหยดน้ำอีกครั้งและไหลออกไปอีกทาง

4.3.4 เครื่องสูบสุญญากาศ (Vacuum pump)

เครื่องสูบสุญญากาศ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ลดความดันภายในถังระเหย ทำให้เกิดสุญญากาศภายใน ต่อกับเครื่องควบแน่น และยังทำหน้าที่ช่วยกำจัดพวกไอระเหยที่ไม่กลั่นตัว (non condensable gases)

4.4 ผลของการทำให้เข้มข้นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

Al-kahtani และ Hassan (1990) ได้ทำการผลิตกระเจี๊ยบแดงผงแห้งจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น โดยใช้กระเจี๊ยบแดงสกัดด้วยน้ำอัตราส่วนกระเจี๊ยบแดงแห้งต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10 (น้ำหนักโดยปริมาตร) สกัดที่อุณหภูมิ 60.0^{0}ซ เป็นเวลา 30 นาที ได้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 2.2-5.0^{0}บริกซ์ แล้วนำไปทำให้เข้มข้นภายใต้สุญญากาศ โดยใช้เครื่องระเหยแบบฟิล์มบาง (thin film evaporator) ใช้อุณหภูมิในการทำให้เข้มข้นเท่ากับ 145.0-150.0^{0}ซ ใช้ความดันเท่ากับ 10.0-17.5 kPa และได้กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 24.5^{0}บริกซ์ อุณหภูมิของสารสกัดเข้มข้นที่ออกมาจากเครื่องระเหยมีอุณหภูมิเท่ากับ 46.0-57.0^{0}ซ แล้วจึงนำกระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นที่ได้ไปทำให้เป็นผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย อุณหภูมิสารสกัดในการป้อนเข้าเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีอุณหภูมิเท่ากับ 51.0^{0}ซ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 198.5^{0}ซ อุณหภูมิลมร้อนขาออกเท่ากับ 98.0^{0}ซ แล้วนำกระเจี๊ยบแดงผงแห้งที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน และค่าพีเอช เท่ากับ 3.78%, 12.43% และ 2.41 ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่น (bulk density) และปริมาณวิตามินซีมีค่าเท่ากับ 0.76 กรัม/มิลลิลิตร และ 82.76 มิลลิกรัม/100 กรัมของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงแห้ง ตามลำดับ

นัยวิท เฉลิมนนท์ (2538) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้สีแดงธรรมชาติจากกระเจี๊ยบแดง โดยทำการเตรียมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงสกัดด้วยน้ำแล้วทำให้เข้มข้นโดยนำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 5.0^{0}บริกซ์ มาทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยน้ำออกภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิไม่เกิน 60.0^{0}ซ จนกระทั่งได้สารสกัด

กระเจี๊ยบแดงเข้มข้นสีแดงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 18.0^{0}บริกซ์ แล้วเติมมอลโตเดกซ์ตรินปริมาณ 35.00% ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงเข้มข้น ได้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงสีแดงเข้ม ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 20.0-25.0^{0}บริกซ์ แล้วนำไปทำให้เป็นผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิของลมร้อนเข้า 200.0^{0}ซ อุณหภูมิลมร้อนออก 100.0^{0}ซ ได้กระเจี๊ยบแดงผงแห้ง แล้วนำกระเจี๊ยบแดงผงแห้งที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ค่าพีเอช และความเป็นกรด มีค่าเท่ากับ 3.14%, 2.87 และ 0.19% ตามลำดับ ค่าความหนาแน่น และการละลายมีค่าเท่ากับ 0.897 กรัม/มิลลิลิตร และ 0.313 กรัม/10 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าสี L^* a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 31.46, 21.30 และ 7.77 ตามลำดับ

Garzon และ Wrolstad (2002) ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินในน้ำสตรอเบอรี่และสตรอเบอรี่เข้มข้น โดยนำน้ำสตรอเบอรี่ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 8.0^{0}บริกซ์ มาทำให้เข้มข้นโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ แบบใช้ steam jacket ที่อุณหภูมิ 50.0^{0}ซ เป็นเวลา 2.0 ชั่วโมง จนกระทั่งได้น้ำสตรอเบอรี่เข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 65.0^{0}บริกซ์ แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) โดยใช้ความแตกต่างของการวัดการดูดกลืนแสง ที่ระดับค่าพีเอชสองระดับ คือ ค่าพีเอช 1.00 และ 4.50 วัดการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ปริมาณแอนโทไซยานินแสดงในรูปของ พีลาร์โกนิดิน 3-กลูโคไซด์ (pelargonidin 3-glucoside) พบว่า น้ำสตรอเบอรี่ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 8.0^{0}บริกซ์ มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 268.00-290.00 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำสตรอเบอรี่ ส่วนน้ำสตรอเบอรี่เข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 65.0^{0}บริกซ์ มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 210.00-227.00 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำสตรอเบอรี่ ปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำสตรอเบอรี่เข้มข้นมีปริมาณน้อยกว่าในน้ำสตรอเบอรี่ที่ยังไม่ทำให้เข้มข้น เนื่องจากความร้อนในการทำให้เข้มข้นมีผลให้แอนโทไซยานินในรูปพีลาร์โกนิดิน 3-กลูโคไซด์ ถูกทำลายหรือเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น น้ำสตรอเบอรี่ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 8.0^{0}บริกซ์ จึงมีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าในน้ำสตรอเบอรี่เข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 65.0^{0}บริกซ์

Kirca และ Cemeroglu (2003) ได้ศึกษาการถูกทำลายของแอนโทไซยานินในน้ำส้มและน้ำส้มเข้มข้น โดยการทำให้เข้มข้นโดยเครื่องระเหยแบบหมุน (rotary) ภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 80.0^{0}ซ ทำให้เข้มข้นจากน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.2^{0}บริกซ์ แล้วทำให้เข้มข้นจนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 45.0^{0}บริกซ์ และ 69.0^{0}บริกซ์ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) โดยใช้ความแตกต่างของการวัดการดูดกลืนแสง ที่ระดับค่าพีเอชสองระดับ คือ ค่าพีเอช

1.00 และ 4.50 วัดการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ปริมาณแอนโทไซยานินแสดงในรูปของไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ โดยน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.2^{0}บริกซ์ มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 87.40 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำส้ม แล้วนำมาศึกษาค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำส้ม คือ เวลาที่ใช้เพื่อให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นในน้ำส้มโดยนำมาให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสามระดับ คือ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ พบว่า น้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.2^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ระดับอุณหภูมิ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ เท่ากับ 6.3, 3.6 และ 1.5 ชั่วโมง ตามลำดับ น้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 45.0^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ระดับอุณหภูมิ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ เท่ากับ 3.4, 1.3 และ 0.7 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 69.0^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ระดับอุณหภูมิ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ เท่ากับ 2.0, 0.8 และ 0.4 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่าน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 11.2, 45.0 และ 69.0^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก 70.0^{0}ซ เป็น 90.0^{0}ซ เมื่อเปรียบเทียบน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.2^{0}บริกซ์ กับน้ำส้มเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 45.0^{0}บริกซ์ และ 69.0^{0}บริกซ์ พบว่าน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.2^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่มากกว่าน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 45.0^{0}บริกซ์ และ 69.0^{0}บริกซ์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทำให้เข้มข้นต้องใช้ความร้อนจึงทำให้แอนโทไซยานินถูกทำลายไปบางส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มที่ยังไม่ทำให้เข้มข้น

Kirca และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอทและน้ำแบลคแครอทเข้มข้น โดยนำน้ำแบลคแครอทที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.0^{0}บริกซ์ มาทำให้เข้มข้นโดยเครื่องระเหยแบบหมุน ภายใต้สุญญากาศจนได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 30.0^{0}บริกซ์ 45.0^{0}บริกซ์ และ 64.0^{0}บริกซ์ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) โดยใช้ความแตกต่างของการวัดการดูดกลืนแสง ที่ระดับค่าพีเอชสองระดับ คือ ค่าพีเอช 1.00 และ 4.50 วัดการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่น 530 และ 700 นาโนเมตร ปริมาณแอนโทไซยานินแสดงในรูปของไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ พบว่าน้ำแบลคแครอทที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.0^{0}บริกซ์ มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 439.00 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำแบลคแครอท แล้วนำมาศึกษาค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอทที่ระดับค่าพีเอช 4.30 ค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอท คือ เวลา

ที่ใช้เพื่อให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นในน้ำแบลคแครอท พบว่า น้ำแบลคแครอทที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.0^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ระดับอุณหภูมิ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ เท่ากับ 16.7, 10.1 และ 5.0 ชั่วโมง ตามลำดับ น้ำแบลคแครอทที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 30.0^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ระดับอุณหภูมิ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ เท่ากับ 17.0, 8.4 และ 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ น้ำแบลคแครอทที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 45.0^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ระดับอุณหภูมิ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ เท่ากับ 14.8, 6.9 และ 3.2 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนน้ำแบลคแครอทที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 64.0^{0}บริกซ์ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินที่ระดับอุณหภูมิ 70.0, 80.0 และ 90.0^{0}ซ เท่ากับ 14.4, 5.2 และ 2.3 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 70.0^{0}ซ เป็น 90.0^{0}ซ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 11.0^{0}บริกซ์ เป็น 64.0^{0}บริกซ์ มีผลทำให้ค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอทมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

5. การพัฒนาสูตรส่วนผสมของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น

5.1 เครื่องดื่มจากสารสกัด

เครื่องดื่มจากสารสกัดเป็นการนำสารสกัดจากผักหรือผลไม้มาผ่านการแปรรูปเพื่อทำให้อยู่ในรูปของเครื่องดื่ม โดยการสกัดสารสกัดจากผักและผลไม้ต้องคำนึงถึงการคงไว้ของคุณค่าทางอาหารเป็นสิ่งสำคัญ ปัจจุบันการบริโภคเครื่องดื่มจากสารสกัดเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นการเสริมสร้างสุขภาพให้ดียิ่งขึ้น (คำรณ พิทักษ์, 2546)

ผลิตภัณฑ์ทางการค้าเบอร์รี่สกัดเข้มข้น มีส่วนประกอบโดยประมาณ ดังนี้ เบอร์รี่สกัดเข้มข้น 73.00%, วิตามินซี 0.10%, วิตามินอี 0.03% และวิตามินเอ 0.01% มีฉลากโภชนาการแสดงร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน ดังนี้ วิตามินเอ วิตามินอี และวิตามินซี เท่ากับ 20.00%, 20.00% และ 45.00% ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์ทางการค้าพรุนสกัดเข้มข้น มีส่วนประกอบโดยประมาณ ดังนี้ พรุนสกัดเข้มข้น 93.90%, โอลิโกฟรุคโตสและอินูลิน 6.00% และวิตามินซี 0.10% มีฉลากโภชนาการแสดงร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน ดังนี้ ฟอสฟอรัส แคลเซียม วิตามินซี และแมกนีเซียม เท่ากับ 2.00%, 2.00%, 40.00% และ 4.00% ตามลำดับ (เซเรบอส, 2550)

Fasoyiro และคณะ (2005) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดง โดยเตรียมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงโดยใช้กระเจี๊ยบแดงแห้งแช่ด้วยน้ำ อัตราส่วนกระเจี๊ยบแดงแห้งต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10 (น้ำหนักต่อ

ปริมาตร) แช่ไว้ 1 คืน หลังจากนั้นนำมาสกัดที่อุณหภูมิ 100.0^{0}ซ เป็นเวลา 15 นาที นำมากรอง นำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ได้มาวัดค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 3.10, 2.40% และ 3.20^{0}บริกซ์ ตามลำดับ ปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหาร เถ้า และไขมัน มีค่าเท่ากับ 89.63, 6.31, 0.36, 0.24, 2.31 และ 1.14 % ตามลำดับ ปริมาณวิตามินซี แคลเซียม ฟอสฟอรัส และโซเดียม มีค่าเท่ากับ 31.33, 2.30, 2.78 และ 2.25 กรัม/100.00 กรัมของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดได้มาเตรียมเป็นเครื่องดื่มโดยการเติมน้ำผลไม้ที่คั้นจากผลไม้แต่ละชนิด มีผลไม้สามชนิดคือ แอปเปิ้ล ส้ม และสับปะรด ซึ่งผลไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของผลไม้ต่ออัตราส่วนของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง โดยศึกษาทั้งหมดสามอัตราส่วน คือ 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 2 และ 1 ต่อ 3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำผลไม้แต่ละชนิดมาคั้นเอาเฉพาะน้ำและเติมลงไปในสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผสมให้เข้ากันแล้วเติมอัตราส่วนของน้ำตาลต่อปริมาตรของเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดง เท่ากับ 1 ต่อ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ได้มาพาสเจอไรซ์ ที่อุณหภูมิ 95.0^{0}ซ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาบรรจุในขวดพลาสติกที่ได้ผ่านการพาสเจอไรซ์แบบปลอดเชื้อแล้ว หลังจากนั้นนำเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คนที่ได้ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว โดยใช้แบบทดสอบชิมแบบ 9-point hedonic scale สเกลประกอบด้วย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด (dislike extremely) และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด (like extremely) โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่นรส และคุณลักษณะโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่า เครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่มีอัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารสกัดกระเจี๊ยบแดงเท่ากับ 1 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีคะแนนการยอมรับมากที่สุด โดยมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่นรส และคุณลักษณะโดยรวม เท่ากับ 8.1 7.6 และ 7.9 ตามลำดับ และนำเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผสมน้ำสับปะรดที่ยอมรับมากที่สุด มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหาร เถ้า และไขมัน มีค่าเท่ากับ 88.62%, 8.70%, 0.93%, 0.64%, 0.32% และ 0.67% ตามลำดับ ปริมาณวิตามินซี แคลเซียม ฟอสฟอรัสและโซเดียม มีค่าเท่ากับ 35.21, 1.54, 2.40 และ 1.10 กรัม/100.00 กรัมของเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผสมน้ำสับปะรด ตามลำดับ จะเห็นว่าเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผสมน้ำสับปะรด มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหารและวิตามินซีเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดกระเจี๊ยบแดงเริ่มต้น

Omemu และคณะ (2006) ได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี และจุลินทรีย์ของเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ซื้อมาจากตลาดในประเทศไนจีเรีย และเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงชุดทดลอง โดยเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงชุดทดลอง มีขั้นตอนการผลิต คือ

นำกระเจี๊ยบแดงแห้ง 20.0 กรัม สกัดด้วยน้ำ 1.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 100.0^{0}ซ เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองเอากากออก นำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ได้มาเติมน้ำตาลทรายขาว 50.0 กรัม แล้วบรรจุใส่ขวดแก้วที่ได้ผ่านการพาสเจอไรซ์แบบปลอดเชื้อแล้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 29.0±1.0^{0}ซ โดยตรวจคุณภาพทางเคมีของเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ซื้อมาจากตลาดในประเทศไนจีเรีย และเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงชุดทดลอง โดยตรวจคุณภาพทุกวัน เป็นเวลา 14 วัน จากผลการทดลองพบว่า เครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ซื้อมาจากตลาดในประเทศไนจีเรีย มีค่าพีเอชของวันที่ 1 เท่ากับ 2.71 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน มีค่าพีเอชของวันที่ 14 เท่ากับ 2.70 ส่วนเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงชุดทดลอง มีค่าพีเอชของวันที่ 1 เท่ากับ 2.67 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน มีค่าพีเอชของวันที่ 14 เท่ากับ 2.71 ส่วนเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ซื้อมาจากตลาดในประเทศไนจีเรียมีปริมาณกรดทั้งหมดแสดงในรูปของกรดซิตริก มีปริมาณกรดทั้งหมดของวันที่ 1 เท่ากับ 0.06% เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 14 วัน ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.07% ส่วนเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงชุดทดลองมีปริมาณกรดทั้งหมดของวันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.06% เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 14 วัน ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.08% ส่วนเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ซื้อมาจากตลาดในประเทศไนจีเรีย และเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงชุดทดลอง มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดที่ใช้ออกซิเจน มีค่าเท่ากับ $2.20x10^4$ และ $1.40x10^4$ CFU/ml ตามลำดับ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน มีค่าเท่ากับ $1.10x10^4$ และ $0.80x10^4$ CFU/ml ตามลำดับ ส่วนปริมาณราทั้งหมด มีค่าเท่ากับ $1.20x10^4$ และ $0.90x10^4$ CFU/ml ตามลำดับ จะเห็นว่าเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ซื้อมาจากตลาดในประเทศไนจีเรีย มีการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์มากกว่าเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงชุดทดลอง

Su และ Silva (2006) ได้ทำการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำบลูเบอรี่ โดยนำผลบลูเบอรี่มาคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ แล้วกรองเอากากออก จะได้น้ำบลูเบอรี่ แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดโดยใช้วิธีของ Wrolstad (1976) โดยใช้ความแตกต่างของการวัดการดูดกลืนแสง ที่ระดับค่าพีเอชสองระดับ คือ ค่าพีเอช 1.00 และ 4.50 วัดการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตรปริมาณแอนโทไซยานินแสดงในรูปของไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu แสดงในรูปกรดแกลลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี Free-Radical Scavenging DPPH แสดงค่าเป็น % inhibition ของน้ำบลูเบอรี่ ที่ระดับความเข้มข้น 0.025 กรัม/ลิตร โดยใช้ BHT เป็นสารละลายมาตรฐาน พบว่าน้ำบลูเบอรี่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 11.9±0.03 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำบลูเบอรี่

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 29.2±0.58 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำบลูเบอรี่ และมีค่า % inhibition เท่ากับ 64.3±0.66%

Liyana-Pathirana และคณะ (2006) ได้ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำเชอร์รี่ โดยน้ำผลเชอร์รี่มาคั้นน้ำแล้วกรองเอากากออก นำน้ำเชอร์รี่ที่ได้มาวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี Free-Radical Scavenging DPPH แสดงค่าเป็น % inhibition ของน้ำเชอร์รี่ ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้คาเทชินเป็นสารละลายมาตรฐาน พบว่า น้ำเชอร์รี่ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 ส่วนในล้านส่วน มีค่า % inhibition เท่ากับ 13.9±0.7%, 25.4±0.9% และ 50.8±0.7% ตามลำดับ จะเห็นว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำเชอร์รี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า % inhibition มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

5.2 ฟรุคโตส

น้ำตาลฟรุคโตส หรือ ลีโวโลส (levulose) เป็นน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ ในธรรมชาติพบน้ำตาลฟรุคโตสได้ในผัก ผลไม้ ธัญพืช และน้ำผึ้ง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545ข) น้ำตาลฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่มีความหวานเป็น 1.8 เท่าของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุคโตสนอกจากจะให้ความหวาน ยังให้ค่าพลังงาน จากการบริโภคน้ำตาลฟรุคโตส 1.0 กรัม ให้ค่าพลังงานเท่ากับ 4.0 กิโลแคลอรี (มลศิริ วีโรทัย, 2545)

Beyer และคณะ (2005) รายงานว่า องค์กร Agriculture Nationwide Food Consumption Survey ขององค์การอาหารโลก (FAO) ได้กำหนดปริมาณที่แนะนำต่อวันในการบริโภคน้ำตาลฟรุคโตสของเด็กทารกเท่ากับ 15.0 กรัม ส่วนผู้ชายอายุตั้งแต่ 15 ถึง 18 ปี เท่ากับ 54.0 กรัม สำหรับประชาชนส่วนใหญ่ควรบริโภคน้ำตาลฟรุคโตสปริมาณที่แนะนำต่อวันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 37.0 กรัม ในประเทศสหรัฐอเมริกานิยมนำน้ำตาลฟรุคโตสมาเติมในเครื่องดื่มน้ำผลไม้ เช่น เครื่องดื่มน้ำแอปเปิ้ลบรรจุขวดแก้วขนาดบรรจุ 16 ออนซ์ มีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส 30.0 กรัม ส่วนเครื่องดื่มที่ไม่ผสมแอลกอฮอล์ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ มีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส 30.0-40.0 กรัม

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ผลิตผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นบรรจุขวดแก้วขนาด 70 มิลลิลิตร ที่มีการเติมน้ำตาลฟรุคโตส 31.98% ของส่วนผสมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น ซึ่งได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

5.3 น้ำผึ้ง

Sato และ Miyata (2000) รายงานว่า น้ำผึ้งเป็นผลิตผลของน้ำหวานจากดอกไม้ โดยตัวผึ้งจะเก็บน้ำหวานจากดอกไม้มาเก็บไว้ในรังผึ้ง น้ำผึ้ง 100.0% ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต

80.0% (ฟรุคโตส 40.0%, กลูโคส 35.0% และ ซูโครส 5.0%) และน้ำ 20.0% น้ำผึ้งมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.00

Tsai และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของน้ำผึ้งต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในสารสกัดกระเจี๊ยบแดง โดยมีการเตรียมตัวอย่าง คือ ชั่งสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (freeze dry) 4.0 กรัม ใส่ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.5 โมล/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ได้ไปทำแห้งแบบระเหิดแห้ง นำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงแห้งที่ได้มาปรับค่าพีเอชให้ได้ 3.20 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ของกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร และโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร หลังจากนั้นนำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ได้มาศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินในสารสกัดกระเจี๊ยบแดงโดยเติมน้ำผึ้งที่ระดับความเข้มข้น 20.0, 40.0 และ 60.0% ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง แล้วนำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการถูกทำลายของแอนโทไซยานิน โดยการวัดการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่น 420 และ 520 นาโนเมตร ใช้สูตรในการคำนวณ คือ $A_{420\ nm}/A_{520\ nm}$ จากการทดลองพบว่า ค่าดัชนีการถูกทำลายของแอนโทไซยานินของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เติมน้ำผึ้งที่ระดับความเข้มข้น 20.0, 40.0 และ 60.0% มีค่าเท่ากับ 0.77, 1.39 และ 1.53 ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นได้ว่า สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เติมน้ำผึ้งที่ระดับความเข้มข้น 20.0% มีค่าดัชนีการถูกทำลายของแอนโทไซยานินต่ำสุด คือ 0.77 ดังนั้น การใช้น้ำผึ้งที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 20.0% สามารถช่วยให้แอนโทไซยานินในสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีความคงตัวมากที่สุด คือ สารสกัดกระเจี๊ยบแดงยังคงมีสีแดงไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สำหรับงานวิจัยนี้ได้ผลิตผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นบรรจุขวดแก้วขนาด 70 มิลลิลิตร ที่มีการเติมน้ำผึ้ง 10.0 % ของส่วนผสมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น โดยพบว่า เมื่อเติมน้ำผึ้งในปริมาณที่มากกว่า 10.0% ของส่วนผสมทั้งหมด ผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น จะมีกลิ่นรสเฉพาะตัวของน้ำผึ้งเด่นชัดมากกว่ากลิ่นรสเฉพาะตัวของกระเจี๊ยบแดง

5.4 โอลิโกฟรุคโตส

โอลิโกฟรุคโตส เป็นน้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์ ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ตั้งแต่ 3-10 โมเลกุล โอลิโกฟรุคโตสมีความหวานเป็น 0.3-0.6 เท่าของน้ำตาลซูโครส (Crittenden and Playne, 1996) โอลิโกฟรุคโตสเป็นอาหารแบบพรีไบโอติก (prebiotic) คืออาหารที่ไม่ย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหารตอนบน สามารถผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ มีผลเพื่อส่งเสริมการเติบโตของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* ซึ่งเรียก

จุลินทรีย์จำพวกนี้ว่าเป็นจุลินทรีย์สุขภาพ (Vicki, 2002; Tanya, 2002 อ้างโดย สุจิตตา เรืองรัศมี, 2546)

Rao (2001) ได้ศึกษาปริมาณโอลิโกฟรุคโตสต่ำสุดที่แนะนำต่อวัน โดยให้ผู้ทดสอบ 8 คน เป็นผู้หญิง 4 คน และเป็นผู้ชาย 4 คน มีอายุระหว่าง 24-48 ปี รับประทานโอลิโกฟรุคโตส 5.0 กรัมต่อวัน ติดต่อกันเป็นเวลา 21 วัน แล้วนำอุจจาระมาตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ *Bifidobacterium* พบว่า จุลินทรีย์ *Bifidobacterium* มีปริมาณเพิ่มขึ้น จาก 8.85 CFU/ml เป็น 9.77 CFU/ml ดังนั้น การบริโภคโอลิโกฟรุคโตสปริมาณที่ต่ำสุดที่แนะนำต่อวัน คือ 5.0 กรัม จะทำให้ร่างกายมีปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยป้องกันความรุนแรงของโรคติดเชื้อทางเดินอาหาร

การรับประทานโอลิโกฟรุคโตสในปริมาณที่มากกว่า 30.0 กรัมต่อวัน จะมีอาการท้องอืด มีแก๊สในกระเพาะอาหาร ซึ่งส่งผลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะร่างกายของแต่ละบุคคล แต่การบริโภคโอลิโกฟรุคโตส ไม่มีผลต่อระดับของน้ำตาลในเลือด ดังนั้นผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถบริโภคโอลิโกฟรุคโตสได้ (Paul, 1997; Tanya, 2002 อ้างโดย สุจิตตา เรืองรัศมี, 2546)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ผลิตผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นบรรจุขวดแก้วขนาด 70 มิลลิลิตร มีการเติมโอลิโกฟรุคโตส 8.0 % ของส่วนผสมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น โดยใช้โอลิโกฟรุคโตสที่มีชื่อทางการค้าว่า Frutafit® CLR มีความยาวพันธะ 7-9 โมโนเมอร์ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตส กลูโคส และซูโครส เป็นองค์ประกอบประมาณ 10.0-15.0% ให้ค่าพลังงาน เท่ากับ 1.8 กิโลแคลอรี/กรัม

5.5 วิตามินอี

วิตามินอีที่พบในธรรมชาติมีอยู่ทั้งในอาหารที่ได้จากพืชและสัตว์มีอยู่ 4 ชนิด คือ แอลฟา- บีตา- แกมมา- และเดลตา-โทโคเฟอรอล วิตามินอีมีความคงตัวดีต่อกรดและภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่ไม่ทนต่อด่าง แสงอัลตราไวโอเลต และจะสลายตัวมากขึ้นเมื่อมีออกซิเจน วิตามินอีมีหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545ค)

ปริมาณวิตามินอีที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes – Thai RDI) เท่ากับ 15 IU (คณะกรรมการอาหารและยา, 2549)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ผลิตผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นบรรจุขวดแก้วขนาด 70 มิลลิลิตร มีการเติมวิตามินอี 0.013 % ของส่วนผสมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น โดยใช้วิตามินอีชนิด แอลฟา-โทโคเฟอริล อะซิเตต มีลักษณะเป็นผงสีขาว สามารถละลายในน้ำ

ได้ มีสูตรโมเลกุล $C_{31}H_{52}O_3$ น้ำหนักโมเลกุล 472.73 กรัม/โมล แอลฟา-โทโคเฟอริล อะซิเตต 1 กรัม มีปริมาณวิตามินอี 500 IU

5.6 วิตามินเอ

วิตามินเอ หรือ เรตินอล มีสีเหลืองอ่อน ทนกรดและด่าง แต่ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศและออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง ถูกทำลายได้ด้วยแสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงอาทิตย์ วิตามินเอพบมากในตับของสัตว์ต่าง ๆ ไข่แดง น้ำนม และผลิตภัณฑ์นม อาหารที่ได้จากพืชจะมีสารประกอบแคโรทีนอยด์ ซึ่งแคโรทีนอยด์จะเป็นโปรวิตามินเอ พบมากในพืชผักที่มีสีเขียวและเหลือง และผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้มแดง เช่น แครอท ฟักทอง มะละกอสุก มะเขือเทศ ใบคะน้า และใบตำลึง แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟา- บีตา- และแกมมา-แคโรทีน วิตามินเอเป็นสารต้านอนุมูลอิสระให้แก่ร่างกาย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545ค)

ปริมาณวิตามินเอที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป เท่ากับ 2,664 IU (คณะกรรมการอาหารและยา, 2549)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ผลิตผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นบรรจุขวดแก้วขนาด 70 มิลลิลิตร มีการเติมวิตามินเอ 0.0035 % ของส่วนผสมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น โดยใช้วิตามินเอ อะซิเตต มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง สามารถละลายในน้ำได้ มีสูตรโมเลกุล $C_{22}H_{32}O_2$ น้ำหนักโมเลกุล 328.54 กรัม/โมล วิตามินเอ อะซิเตต 1 กรัม มีปริมาณวิตามินเอ 325,000 IU

6. อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

6.1 การพาสเจอไรซ์ วิธีการ และผลของความร้อนที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

การพาสเจอไรซ์ คือ วิธีการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมาก โดยมุ่งทำลายแบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างสปอร์และก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์ (pathogenic bacteria) ส่วนจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่ทนความร้อนของการพาสเจอไรซ์จะทำให้อาหารเสียได้ ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ต้องอาศัยความเย็นช่วยเก็บรักษา เนื่องจากน้ำผลไม้อยู่ในกลุ่มอาหารประเภทกรด (acid food) อาหารประเภทนี้จะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 3.70-4.50 สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2543ข)

การพาสเจอไรซ์สามารถแบ่งได้ 2 ระบบ คือ ระบบช้าอุณหภูมิต่ำเวลานาน (Low Temperature Long Time, LTLT) เป็นระบบที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60.0^0ซ นาน 30 นาที แล้วทำ

ให้เย็นทันที และระบบเร็วอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High Temperature Short Time, HTST) เป็นระบบที่ให้ความร้อนในระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลง คือ ที่อุณหภูมิ 72.0^{0}ซ นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงโดยเร็ว (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2543ข) ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการพาสเจอไรซ์ระบบเร็วอุณหภูมิสูงเวลาสั้น โดยใช้เครื่องฆ่าเชื้อแบบ steam water spray automated batch ทำให้จุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นบรรจุขวดแก้วขนาด 70 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 85.0^{0}ซ นาน 5 นาที

Lee และ Coates (1999) ได้ศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์ที่มีผลต่อสี ปริมาณบีตา-แคโรทีนและไลโคพีนของน้ำอุ่นแดง โดยใช้อุ่นแดงพันธุ์ Ruby Red จากรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการคั้นผลอุ่นแดงด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ หลังจากนั้นนำน้ำอุ่นแดงที่ได้มาพาสเจอไรซ์ระบบเร็วอุณหภูมิสูงเวลาสั้น ทำให้จุดร้อนช้าที่สุดของน้ำอุ่นแดงมีอุณหภูมิเท่ากับ 91.0^{0}ซ นาน 10 วินาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 25.0^{0}ซ แล้วนำมาบรรจุในขวดพลาสติกที่ได้ผ่านการพาสเจอไรซ์แบบปลอดเชื้อแล้ว ขนาดบรรจุ 950 มิลลิลิตร นำน้ำอุ่นแดงก่อนและหลังการพาสเจอไรซ์ที่ได้มาวัดค่าสี โดยระบบ CIE L^* a^* และ b^* โดย L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าจาก 0 คือ สีดำ ถึง 100 คือ สีขาว a^* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดงที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่า $-a^*$ แสดงความเป็นสีเขียว + a^* แสดงความเป็นสีแดง ส่วน b^* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีน้ำเงินและเหลืองที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่า $-b^*$ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน + b^* แสดงความเป็นสีเหลือง และวิเคราะห์หาปริมาณบีตา-แคโรทีนและไลโคพีน ของน้ำอุ่นแดง โดยวิธี HPLC ตามวิธีของ Sadler และคณะ (1990) จากผลการทดลองพบว่า น้ำอุ่นแดงก่อนการพาสเจอไรซ์ มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 39.01, 0.46 และ 4.04 ตามลำดับ มีปริมาณบีตา-แคโรทีนและไลโคพีน เท่ากับ 1.00 และ 2.40 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำอุ่นแดง ตามลำดับ ส่วนน้ำอุ่นแดงหลังการพาสเจอไรซ์ มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 39.50, 0.28 และ 6.73 ตามลำดับ มีปริมาณบีตา-แคโรทีนและ ไลโคพีน เท่ากับ 1.00 และ 2.20 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำอุ่นแดง ตามลำดับ จะเห็นว่า การพาสเจอไรซ์ทำให้สีของน้ำอุ่นแดงเปลี่ยนไป คือ น้ำอุ่นแดงมีสีแดงลดลง เมื่อเทียบกับน้ำอุ่นแดงก่อนการพาสเจอไรซ์ และทำให้ปริมาณไลโคพีนจาก 2.40 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำอุ่นแดงก่อนการพาสเจอไรซ์ ลดลงเหลือเท่ากับ 2.20 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำอุ่นแดงหลังการพาสเจอไรซ์

Lee และ Coates (2003) ได้ศึกษาผลของความร้อนในการพาสเจอไรซ์ที่มีผลต่อสีและปริมาณแคโรทีนอยด์ของน้ำส้ม เตรียมตัวอย่างน้ำส้ม โดยนำผลส้ม 10 ผลล้างด้วยน้ำเปล่า แล้วคั้นผลส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำน้ำส้มที่ได้มากรองกากออกด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปโฮโมจิไนซ์ ที่ระดับความเร็ว 4 นาน 1 นาที นำน้ำส้มที่ได้มาพาสเจอไรซ์ระบบเร็วอุณหภูมิสูงเวลาสั้น ทำให้จุดร้อนช้าที่สุดของน้ำส้มมีอุณหภูมิเท่ากับ 90.0^{0}ซ นาน 30 วินาที แล้วนำน้ำส้มก่อนและหลังการพาสเจอไรซ์ที่ได้มาวัดค่าสี โดยระบบ CIE L^* a^* และ b^* และวิเคราะห์หา

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำส้ม โดยใช้วิธี HPLC ตามวิธีของ Lee และ Castle (2001) จากผลการทดลองพบว่า น้ำส้มก่อนการพาสเจอไรซ์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 6.25 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำส้ม น้ำส้มหลังการพาสเจอไรซ์มีปริมาณแคโรทีนอยด์ ลดลง 10.00% เหลือเท่ากับ 5.70 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำส้ม และน้ำส้มก่อนการพาสเจอไรซ์ มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 40.22, -1.75 และ 17.62 ตามลำดับ ส่วนน้ำส้มหลังการพาสเจอไรซ์ มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 41.22, -2.64 และ 20.02 ตามลำดับ จะเห็นว่าการใช้ความร้อนในการพาสเจอไรซ์น้ำส้มจะทำให้น้ำส้มหลังการ พาสเจอไรซ์มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำส้มที่ยังไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ส่วนน้ำส้มหลังการพาสเจอไรซ์มีสีแดงลดลงแต่สีเหลืองเข้มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำส้มก่อนการพาสเจอไรซ์ ซึ่งความร้อนในการพาสเจอไรซ์ทำให้สีของน้ำส้มหลังการพาสเจอไรซ์เปลี่ยนแปลงไป

Osuntogun และ Aboaba (2004) ได้ศึกษาการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์และปริมาณสารประกอบฟีนอลของเครื่องดื่มจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดง โดยชั่งกระเจี๊ยบแดงแห้ง 100.0 กรัม สกัดด้วยน้ำ 1,500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100.0^{0}ซ นาน 3-5 นาที นำกากกระเจี๊ยบแดงออกแล้วเติมน้ำตาล แล้วนำน้ำกระเจี๊ยบแดงที่ได้มาทำการพาสเจอไรซ์ระบบช้าอุณหภูมิต่ำเวลานาน ทำให้จุดร้อนช้าที่สุดของน้ำกระเจี๊ยบแดงมีอุณหภูมิเท่ากับ 72.0^{0}ซ นาน 15 นาที แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิ 28.0± 2.0^{0}ซ เป็นเวลา 30 วัน แล้วมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอล ตามวิธีของ McGrath และคณะ (1982) พบว่าน้ำกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 35.0 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำกระเจี๊ยบแดง และตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า น้ำกระเจี๊ยบแดงหลังการ พาสเจอไรซ์ไม่มีการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์

Moreno และคณะ (2006) ได้ศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ วิตามินเอ วิตามินซี และตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเขือเทศชุดทดลองและน้ำมะเขือเทศทางการค้า โดยน้ำมะเขือเทศชุดทดลองมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้ ใช้มะเขือเทศสดทั้งผลจากประเทศสเปนมาโฮโมจิไนส์โดยใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ เติมกรดซิตริก 2.0% และโซเดียมคลอไรด์ 0.6% จะได้น้ำมะเขือเทศก่อนการพาสเจอไรซ์เป็นน้ำมะเขือเทศชุดทดลอง ส่วนน้ำมะเขือเทศหลังการพาสเจอไรซ์ซื้อมาจากตลาดในประเทศสเปนเป็นน้ำมะเขือเทศทางการค้า ที่มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 6 เดือน หลังจากนั้นนำน้ำมะเขือเทศชุดทดลอง มาวัดค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 2.73, 8.31% และ 7.40^{0}บริกซ์ ตามลำดับ ส่วนค่าสี วัดโดยระบบ CIE L^* a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 26.32, 16.89 และ 17.93 ตามลำดับ ส่วนน้ำมะเขือเทศทางการค้า มีค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 4.15, 5.28% และ 5.20^{0}บริกซ์ ตามลำดับ ค่าสี L^* a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 26.11, 18.25 และ 20.17 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำน้ำมะเขือเทศชุดทดลองและทางการค้ามาวิเคราะห์หาปริมาณ แค

โรทีนอยด์ โดยใช้วิธี HPLC ตามวิธีของ Takeoka และคณะ (2001) วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินเอในรูปของเรตินอล และวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี โดยใช้วิธี HPLC ตามวิธีของ Moreno และคณะ (2003) น้ำมะเขือเทศชุดทดลอง มีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 1,524 ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำมะเขือเทศ ปริมาณวิตามินเอ เท่ากับ 32.8 ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำมะเขือเทศ และปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 16.5 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำมะเขือเทศ ส่วนน้ำมะเขือเทศทางการค้ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 2,480 ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำมะเขือเทศ ปริมาณวิตามินเอ เท่ากับ 17.6 ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำมะเขือเทศ และมีปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 25.4 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำมะเขือเทศ หลังจากนั้นนำมะเขือเทศชุดทดลองและน้ำมะเขือเทศทางการค้ามาตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ แสดงในรูป EC_{50} มีค่าเท่ากับ 64.3 และ 75.8 ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำมะเขือเทศ ตามลำดับ จะเห็นว่า น้ำมะเขือเทศชุดทดลองซึ่งเป็นน้ำมะเขือเทศก่อนการพาสเจอไรซ์ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าน้ำมะเขือเทศทางการค้าซึ่งผ่านการพาสเจอไรซ์มาแล้ว ความร้อนในขั้นตอนการพาสเจอไรซ์ทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมะเขือเทศก่อนการพาสเจอไรซ์

Gama และ Sylos (2007) ได้ศึกษาผลของความร้อนในการพาสเจอไรซ์ที่มีผลต่อแคโรทีนอยด์ในน้ำส้ม โดยใช้ผลส้มจากประเทศบราซิล คั้นน้ำส้มโดยใช้เครื่องคั้นน้ำผลไม้ จะได้น้ำส้มก่อนการ พาสเจอไรซ์ นำน้ำส้มที่ได้มาพาสเจอไรซ์ระบบเร็วอุณหภูมิสูงเวลาสั้น ทำให้จุดร้อนช้าที่สุดของน้ำส้มมีอุณหภูมิเท่ากับ 95.0^{0}ซ นาน 10 วินาที แล้วนำน้ำส้มก่อนและหลังการพาสเจอไรซ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยใช้วิธี HPLC ตามวิธีของ Lee และ Castle (2001) พบว่า น้ำส้มก่อนการพาสเจอไรซ์มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 12.0 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำส้ม ส่วนน้ำส้มหลังการพาสเจอไรซ์มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 10.4 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำส้ม จะเห็นว่า การใช้ความร้อนในขั้นตอนการพาสเจอไรซ์น้ำส้มทำให้น้ำส้มหลังการพาสเจอไรซ์มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง 13.0% เมื่อเทียบกับน้ำส้มก่อนการพาสเจอไรซ์

6.2 ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุสำหรับเครื่องดื่มจากสารสกัดส่วนใหญ่ คือ แก้ว เนื่องจากแก้วเป็นภาชนะบรรจุ มีข้อเด่น คือ เป็นวัสดุที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมีมากที่สุด และทนต่อการกัดกร่อนหรือปราศจากปฏิกิริยาเคมีของอาหารจึงทำให้รสชาติของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซ และกลิ่นได้ดี ความใสและเป็นประกายของแก้วช่วยให้มองเห็นผลิตภัณฑ์ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับได้ดี ภาชนะบรรจุแก้วสามารถบรรจุอาหารขณะร้อนหรือผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงได้ แก้วจึงเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติดีเหมาะ

กับผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ข้อด้อยของแก้ว คือ น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของแก้วมีค่ามากกว่าภาชนะบรรจุอื่นๆ และแตกได้ง่าย (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) งานวิจัยนี้เลือกใช้แก้วเป็นภาชนะบรรจุกระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับกระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน มีผลช่วยในการรักษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษากระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น

6.3 มาตรฐานเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขของเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ซึ่งเป็นอาหารควบคุมเฉพาะต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานดังต่อไปนี้ (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2543)

- มีกลิ่นและรสตามเครื่องดื่มนั้น
- ไม่มีตะกอน เว้นแต่ตะกอนอันมีตามธรรมชาติของส่วนประกอบ
- น้ำที่ใช้ผลิตต้องเป็นน้ำที่มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง “ น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท”
- ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม (coliform bacteria) น้อยกว่า 2.2 ต่อเครื่องดื่ม 100 มิลลิลิตร โดยวิธีเอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number, MPN)
- ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด *E. coli*
- ไม่มีจุลินทรีย์ก่อโรค
- ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- ไม่มียีสต์และเชื้อรา
- ไม่มีสารปนเปื้อน เว้นแต่ดังต่อไปนี้

สารหนู	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/เครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
ตะกั่ว	ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/เครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
ทองแดง	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม/เครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
สังกะสี	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม/เครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
เหล็ก	ไม่เกิน 15.0 มิลลิกรัม/เครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
ดีบุก	ไม่เกิน 250.0 มิลลิกรัม/เครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ไม่เกิน 10.0 มิลลิกรัม/เครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม

- ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้

- มีแอลกอฮอล์อันเกิดขึ้นจากธรรมชาติของส่วนประกอบและแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกรรมวิธีการผลิตรวมกันได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนัก

7. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

7.1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีทดสอบความยอมรับ (acceptance test) มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการทดสอบแบบ hedonic scaling test เป็นวิธีการที่นิยมวิธีหนึ่ง ซึ่งวัดจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ทดสอบชิมที่ตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กำลังทดสอบ ผู้ทดสอบชิมที่ใช้เป็นผู้ทดสอบชิมในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory panel) มีจำนวนตั้งแต่ 10-20 คน ผู้ทดสอบชิมที่มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดีหรือผู้ทดสอบชิมที่มีความชำนาญอาจใช้ผู้ทดสอบชิมในจำนวนที่น้อยได้ ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนแม้จะมีจำนวนน้อยแต่จะให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าการใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมาเลยแม้ว่าจะใช้จำนวนผู้ทดสอบชิมมากกว่า (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในช่วงระหว่างอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 12 คน และใช้สเกลแบบ 9 ระดับคะแนน (9-point hedonic scale) สเกลประกอบด้วย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด (dislike extremely) 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก (dislike very much) 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง (dislike moderately) 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike slightly) 5 หมายถึง เฉยๆ (neither like nor dislike) 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย (like slightly) 7 หมายถึง ชอบปานกลาง (like moderately) 8 หมายถึง ชอบมาก (like very much) และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด (like extremly) ตัวอย่างแบบทดสอบประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์แบบ 9-point hedonic scale ได้แสดงในภาคผนวก ง

7.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ คือ อุณหภูมิและระยะเวลาในระหว่างการเก็บรักษาดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 2.2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

นัยวิท เฉลิมนนท์ (2538) ได้ศึกษาความคงตัวของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงแห้งที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เยลลี่แอปเปิ้ล การเตรียมเยลลี่แอปเปิ้ล โดยผสมน้ำตาลทราย 50.0 กรัม คาราจีแนน 1.6 กรัม และโซเดียมซิเตรต 2.0 กรัม เข้าด้วยกัน แล้วเติมน้ำ 97.0 กรัม ต้มสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 80.0-90.0^{0}ซ จนได้สารละลายใส เติมน้ำแอปเปิ้ล 53.0 กรัม กรดซิตริกผง 0.6 กรัม และเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงแห้ง 0.25% ของน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด แล้วนำผลิตภัณฑ์เยลลี่แอปเปิ้ลที่ได้มาบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท และเก็บที่อุณหภูมิ 8.0-10.0^{0}ซ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ แล้ววัดค่าสี โดยระบบ CIE L^* a^* และ b^* พบว่า ค่าสีของผลิตภัณฑ์เยลลี่แอปเปิ้ล ในการเก็บรักษาในวันที่ 0 ของการทดลอง มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 37.97, 10.73 และ 19.57 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์เยลลี่แอปเปิ้ล มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 36.90, 9.67 และ 26.50 ตามลำดับ จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์เยลลี่แอปเปิ้ลที่มีการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงแห้ง มีค่าความสว่างและสีแดงอ่อนลง โดยสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น

สิรินาถ ตัณฑเกษม (2545) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใช้สีสังเคราะห์ (ปองโซ 4 อาร์ 35.0% คาร์โมอิซีน 4.0% และทาร์ทราซีน 1.8%) การเตรียมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงโดยสกัดกระเจี๊ยบแดงสดด้วยน้ำอัตราส่วนกระเจี๊ยบแดงสดต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) สกัดที่อุณหภูมิ 80.0^{0}ซ นาน 5 นาที แล้วกรองเอากากออก แล้วนำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสดที่ได้มาทำให้เข้มข้นโดยเครื่อง rotary evaporation ที่อุณหภูมิ 70.0-80.0^{0}ซ จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 20.0^{0}บริกซ์ เตรียมผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีส่วนประกอบของน้ำตาล 67.75 กรัม เพคติน 0.75 กรัม กรดซิตริก 0.05 กรัม และน้ำ 35.00 กรัม โดยนำเพคตินผสมกับน้ำตาลทราย เติมน้ำลงไป นำไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 100.0^{0}ซ แล้วจึงเติมกรดซิตริก เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 80.0^{0}ซ เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 20.0^{0}บริกซ์ เติมลงไป 0.60 % โดยน้ำหนักส่วนผสมเยลลี่เทใส่พิมพ์ แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ ส่วนผลิตภัณฑ์เยลลี่สีสังเคราะห์ เติมสีสังเคราะห์ 0.03% โดยน้ำหนักส่วนผสมเยลลี่ แทนสารสกัดกระเจี๊ยบแดง แล้วนำมาศึกษาความคงตัวของสีในผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดงและเยลลี่สีสังเคราะห์ โดยการวัดค่าสี โดยระบบ CIE L^* a^* และ b^* เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่าสี L^* a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดง เก็บรักษาวันที่ 0 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 8.12, 18.38 และ 6.56 ตามลำดับ ส่วนเยลลี่สีสังเคราะห์ มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 7.82, 18.68 และ 6.34 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดง มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 4.90, 14.37 และ 2.71 ตามลำดับ ส่วนเยลลี่สีสังเคราะห์ มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 3.61, 5.97 และ 0.79 ตามลำดับ การศึกษาเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดงและ

เยลลี่สีสังเคราะห์ โดยการวัดความคงตัวของเจลด้วย Lloyd Texture Analyser รุ่น LRX หัวกดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยกดลึกจากผิวลงไป 4 มิลลิเมตร พบว่า ผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดงที่เก็บรักษาวันที่ 0 ของการทดลอง มีค่า Jell strength เท่ากับ 0.97 นิวตัน ส่วนเยลลี่สีสังเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 0.80 นิวตัน เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดง มีค่า Jell strength เท่ากับ 0.47 นิวตัน ส่วนเยลลี่สีสังเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 0.45 นิวตัน และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 12 คน โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดง ด้าน สี กลิ่น ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณลักษณะโดยรวม มีค่าเท่ากับ 7.60, 7.73, 6.86, 7.06, 7.06 และ 7.73 ตามลำดับ ส่วนเยลลี่สีสังเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 7.53, 6.67, 6.73, 6.40, 6.46 และ 6.73 ตามลำดับ จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบแดงมีค่าสีที่ดีกว่าเยลลี่สีสังเคราะห์ ในด้านความคงตัวของเจล เยลลี่กระเจี๊ยบแดงมีความคงตัวของเจลมากกว่าเยลลี่สีสังเคราะห์ โดยความคงตัวของเจลจะมีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนเยลลี่กระเจี๊ยบแดงมีการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากกว่าเยลลี่สีสังเคราะห์

Caro และคณะ (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฟลาโวนอยด์ และปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มระหว่างการเก็บรักษา โดยมีขั้นตอนการเตรียมน้ำส้มดังนี้ ผ่าครึ่งผลส้ม แล้วคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ แล้วนำน้ำส้มที่ได้มาบรรจุในขวดแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ เป็นเวลา 15 วัน นำน้ำส้มมาตรวจคุณภาพทางเคมีและกายภาพ ดังนี้ น้ำส้มที่เก็บรักษาวันที่ 0 ของการทดลองมีค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดแสดงในรูปกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 3.90, 0.91% และ 12.8^{0}บริกซ์ ตามลำดับ น้ำส้มที่เก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน มีค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 4.70 0.95% และ 12.65^{0}บริกซ์ ตามลำดับ น้ำส้มที่เก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 10^{2} CFU/ml ส่วนปริมาณกรดแอสคอร์บิก วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990) พบว่า น้ำส้มที่เก็บรักษาวันที่ 0 ของการทดลอง มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 4.27 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักแห้งของผลส้ม เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน น้ำส้มมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 3.71 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักแห้งของผลส้ม ส่วนปริมาณฟลาโวนอยด์ ใช้วิธี HPLC ตามวิธีของ Mouly และคณะ (1998) พบว่า น้ำส้มที่เก็บรักษาวันที่ 0 ของการทดลอง มีปริมาณ ฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 3.35 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักแห้งของผลส้ม เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน น้ำส้มมีปริมาณฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 1.18 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักแห้งของผลส้ม จะเห็นว่า น้ำส้มมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกและฟลาโวนอยด์ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น

Kirca และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น โดยน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่นที่ใช้เป็น

ผลิตภัณฑ์ทางการค้าจากประเทศตุรกี ซึ่งผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85.0^{0}ซ เป็นเวลา 15 นาที แล้วมาตรวจคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ดังนี้ น้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 26.2^{0}บริกซ์ ค่าพีเอช เท่ากับ 3.58 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก มีค่าเท่ากับ 0.53 กรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น ปริมาณกรดแอสคอร์บิก วิเคราะห์ตามวิธีของ Anonymos (1951) มีค่าเท่ากับ 1.85 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น และวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Wrolstad (1976) ปริมาณแอนโทไซยานินแสดงในรูปของไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ โดยใช้ความแตกต่างของการวัดการดูดกลืนแสง ที่ระดับค่าพีเอช 2 ระดับ คือ ค่าพีเอช 1.00 และค่าพีเอช 4.50 วัดการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร พบว่า น้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 41.10 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น หลังจากนั้นนำน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่นมาศึกษาค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ, 20.0^{0}ซ และ 37.0^{0}ซ ซึ่งค่าครึ่งชีวิต คือ เวลาที่ใช้เพื่อให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นในน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น พบว่า น้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ, 20.0^{0}ซ และ 37.0^{0}ซ มีค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น เท่ากับ 144.0, 11.6 และ 1.8 สัปดาห์ ตามลำดับ จะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 4.0^{0}ซ เป็น 37.0^{0}ซ ทำให้ค่าครึ่งชีวิตของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำแบลคแครอทผสมน้ำองุ่น ลดลงจาก 144.0 สัปดาห์ เป็น 1.8 สัปดาห์

Henry และ Badrie (2007) ได้ศึกษาคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตกระ เจี๊ยบแดงระหว่างการเก็บรักษา โดยมีการเตรียมโยเกิร์ตกระเจี๊ยบแดงดังนี้ นำกระเจี๊ยบแดงสดที่เอาเมล็ดออกแล้วมาสกัดด้วยน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) สกัดที่อุณหภูมิ 60.0^{0}ซ นาน 3.5 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 35.0±2.0^{0}ซ หลังจากนั้นนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นผลไม้ เติมเอนไซม์เพคติเนส 0.5% ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 20.0^{0}ซ นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมากรองผ่านตะแกรงร่อนแยกขนาด ขนาด 2 มิลลิเมตร จะได้เพียวเร่กระเจี๊ยบแดงที่มีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 6.0^{0}บริกซ์ เติมน้ำตาลฟรุคโตส 22.5% จะได้เพียวเร่กระเจี๊ยบแดงที่มีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 20.0^{0}บริกซ์ แล้วเติมน้ำตาลทรายกับแซนแทนกัม 0.6% นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40.0^{0}ซ จะได้เนกต้ากระเจี๊ยบแดงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 60.0^{0}บริกซ์ แล้วนำมาผสมกับโยเกิร์ตรสจืด 33.0% จะได้โยเกิร์ตกระเจี๊ยบแดงที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.83 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 23.0^{0}บริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติกเท่ากับ 0.19% และมีข้อมูลโภชนาการของโยเกิร์ตกระเจี๊ยบแดงต่อหนึ่งหน่วยบริโภค 226.0 กรัม มี

โซเดียม 220.0 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 260.0 มิลลิกรัม และโปรตีน 8.0 กรัม นำโยเกิร์ต กระเจี๊ยบแดงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.0^{0}ซ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า โยเกิร์ตกระเจี๊ยบแดงที่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีค่าพีเอช เท่ากับ 3.76 มีการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ ดังนี้ มีปริมาณ *Lactobacillus bulgaricus* เท่ากับ 7.72 CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 0 และเพิ่มขึ้นเป็น 8.48 CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณ *Streptococcus thermophilus* เท่ากับ 7.97 CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 0 และเพิ่มขึ้นเป็น 8.48 CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 2 และมีปริมาณยีสต์และรา เท่ากับ 1.00 CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 1 และเพิ่มขึ้นเป็น 3.65 CFU/ml ในสัปดาห์ที่ 3 จะเห็นว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตกระเจี๊ยบแดงเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนจุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำ
2. เพื่อศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการทำให้เข้มข้นของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง
3. เพื่อพัฒนาสูตรส่วนผสมของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น
4. เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น
5. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นในระหว่างการเก็บรักษา
6. เพื่อคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้น