รายงานการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย น้ำลูกหนามแดงพร้อมดื่ม

Karanda Juice (*Carissa carandas* Linn.)

คณะผู้วิจัย

รุ่งทิวา วงค์ไพศาลฤทธิ์

เบญจมาภรณ์ ภัทรนาวิก

ดวงทิพย์ ศรีตาแสน

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2551

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รายงานการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย **น้ำลูกหนามแดงพร้อมดื่ม**

Karanda Juice (*Carissa carandas* Linn.)

คณะผู้วิจัย

รุ่งทิวา วงค์ไพศาลฤทธิ์

เบญจมาภรณ์ ภัทรนาวิก

ดวงทิพย์ ศรีตาแสน

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2551

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ABSTRACT

This research aimed to studies quality of Num Daeng juice, effect of heating on the sensory quality, effect of storage time on the quality. Num Daeng juice was extracted from frozen Num Daeng fruit. The juice had pH 2.8±0.2, total soluble solid 8±0.4° Brix, total phenolic compounds 38.439±0.011 mg /100 ml juice, and no vitamin C was found in the juice. The optimum pasteurization 25% Num Daeng juice was 85° C for 1 min. The juice was stored in translucent glass bottles at 10° C for 7 weeks. During storage for 7 weeks phenolic compounds decreased continuously. This showed that the storage time affected the quantity of total phenolic compounds. The sensory evaluation showed that the preference in color, odor, flavor, clearness and over all ranged from 'like slightly' to 'like moderately' in every treatment ($p \geq 0.05$).

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม 25% และศึกษาผลของความร้อน ต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม 25% ผลการทดลองพบว่า น้ำคั้นมี pH 2.8±0.2 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 8±0.4 °Brix สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 38.439±0.011 mg/100 ml เมื่อนำน้ำคั้นที่ได้จากลูกหนามแดงมาผลิตเป็นน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อน้ำลูกหนามแดงคือ 85 °C เวลา 1นาที หลังจากบรรจุน้ำลูกหนามแดงที่ได้ ในขวดแก้วโปร่งแสงขนาด 150 ml ปิดด้วยจุกยางและฝาเกลียวอะลูมิเนียม เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 7 สัปดาห์ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง และผลของการให้ความร้อนแต่ละระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ65, 70 และ 75 °C เวลา 15 นาที และ 80, 85 และ 90 °C เวลา 1 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และได้รับคะแนนความชอบคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบรวมอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ งบผลประโยชน์ปี 2551 ขอขอบคุณผกามาส มังคัลรังษี , สุชาดา คงความสุข และ กนกรัตน์ บุญเชิด ศึกษาสาขาอาหารและโภชนาการ - พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัย

21 พฤษภาคม 2551

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ii
กิตติกรรมประกาศ.....iii
สารบัญ.....iv
สารบัญตาราง.....vi
สารบัญภาพ.....vii
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
บทที่ 2 เอกสารและงานที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 หนามแดง.....3
2.2 น้ำผลไม้.....4
2.3 สารประกอบฟีนอล.....7
2.4 การพาสเจอร์ไรส์.....16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....17
3.1 วัตถุดิบ.....17
3.2 อุปกรณ์.....17
3.3 สถานที่ทำการทดลอง.....19
3.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดอง.....26

4.1 ผลการศึกษากรรมวิธีการผลิตลูกหนามแดงพร้อมดื่ม(มะม่วงหาวมะนาวโห่).....26

4.2 ผลการศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม.....27

4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม.....29

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....37

บรรณานุกรม.....38

ภาคผนวก.....40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ผลหนามแดง	3
3.1	กรรมวิธีการผลิตน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม	24
4.1	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	30
4.2	ปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	30

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลในอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากพืช.....8

2.2 ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลในส่วนต่าง ๆของพืช.....12

2.3 บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อการเกิดโรคมะเร็ง.....15

4.1 คุณภาพของน้ำคั้นที่ได้จากผลลูกหนามแดง.....26

4.2 แสดงคะแนนเฉลี่ยการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่ผ่านการให้ความร้อนในอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน.....27

4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....29

4.4 ปริมาณสีเพอริเมอริกในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....31

4.5 ค่าสี L^* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....31

4.6 ค่าสี a^* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....32

4.7 ค่าสี b^* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....32

4.8 ค่าสี ΔE^* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....33

4.9 ค่าสี C^* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....33

4.10 ค่าสี ΔH ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา.....34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการดื่มเครื่องดื่มน้ำผลไม้ได้รับความนิยมแทนการดื่มเครื่องดื่มอัดลม เนื่องจากน้ำผลไม้นั้นมีรสชาติอร่อย และมีคุณค่าทางโภชนาการซึ่งประโยชน์ต่อร่างกาย

การนำเอาลูกหนามแดงมาพัฒนาเป็นน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม เนื่องจากลูกหนามแดงเป็นผลที่ได้จากต้นหนามแดงที่เป็นไม้พุ่มโบราณ นิยมนำมาปลูกเป็นไม้ประดับ มีผลสีแดงเข้ม ในลูกหนามแดงนั้นมีสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ได้แก่ แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และวิตามินซี ซึ่ง มีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น ลดการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน การเพิ่มประสิทธิภาพของสายตา และช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง (อนุพงศ์ ศิริเมืองมูล, 2548) แต่เป็นที่น่าเสียดายที่ผลลูกหนามแดงนั้นไม่ได้นิยมนำมารับประทาน เนื่องจากลูกหนามแดงมีรสชาติเปรี้ยวและมีรสฝาด และแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารสีนั้นมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง (เสกสรร วงศ์ศิริ, 2546)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนานำลูกหนามแดงมาแปรรูปเป็นน้ำผลไม้ที่บริโภคง่าย และทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในน้ำลูกหนามแดง เพื่อให้ได้น้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่มที่มีลักษณะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นการช่วยให้คนหันมาปลูกต้นหนามแดง เพื่อนำผลมาทำการแปรรูป และเป็นการอนุรักษ์พันธุ์ไม้ชนิดนี้ไปในตัวอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษากรรมวิธีการผลิตลูกหนามแดงพร้อมดื่ม(มะม่วงหาวมะนาวโห่)

1.2.2 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกหนามแดงพร้อมดื่ม(มะม่วงหาวมะนาวโห่)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดง (มะม่วงหาวมะนาวโห่) โดยทำการคัดเลือกลูกหนามแดง (มะม่วงหาวมะนาวโห่) ที่มีขนาดของผลและสีที่เท่ากัน แล้วนำมาทำศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของลูกหนามแดง : น้ำ ในการทำน้ำลูกหนามแดง แล้วทำการทดสอบชิมที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ให้คะแนนแบบ 9 Point Hedonic Scale วางแผนการทดสอบแบบ CRD วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ตาราง ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (Least significant Different)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพร้อมดื่ม (มะม่วงหาวมะนาวโห่) ที่เป็นที่ยอมรับของกลุ่มผู้บริโภค

1.4.2 เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ชอบดื่มน้ำผลไม้

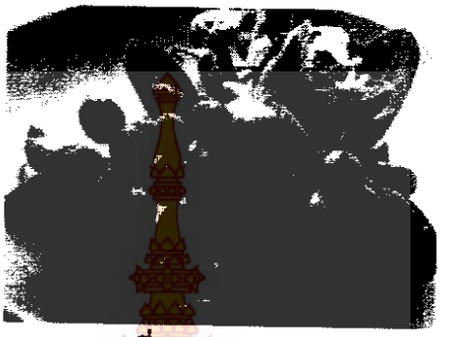
1.4.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพร้อมดื่ม (มะม่วงหาวมะนาวโห่) ในระดับอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทที่ 2
เอกสารและงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 หนามแดง (Nam Daeng)

ชื่ออื่น : มะนาวไม่รู้โห่ (ภาคกลาง) หนามขี้แฮด (ภาคเหนือ) มะนาวโห่ (ภาคใต้)



ภาพที่ 2.1 ผลหนามแดง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น : เป็นไม้พุ่ม สูงประมาณ 2-3 เมตร เปลือกลำต้นสีน้ำตาลเข้ม แตกเป็นริ้ว ตามกิ่งก้านและลำต้นเป็นหนามแหลม มียางสีขาว

ใบ : เป็นใบเดี่ยว ออกตรงข้ามกัน ใบรูปรีเกือบกลม ปลายใบเว้าเล็กน้อย โคนใบมนเว้าเข้าหาก้านใบ หลังใบและท้องใบเรียบ ใบอ่อนมีสีแดง ก้านใบสั้น

ดอก : ออกเป็นช่อ ออกตามซอกใบใกล้ปลายยอดดอกย่อยสีขาว กลีบมี 5 กลีบ ปลายกลีบดอกแหลม โคนกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นหลอด ก้านชูดอกสีเข้ม

ผล : รูปทรงกลมรี ผิวเรียบ ผลอ่อนสีขาว ผลแก่เป็นสีชมพูจนเป็นสีแดงเข้มจนเกือบดำ เมล็ดแบนมี 6 เมล็ด

ประโยชน์ : *ใบ* ใช้ใบสดต้มเอาน้ำดื่ม แก้ท้องร่วง แก้ปวดหู แก้เจ็บคอ แก้เจ็บปากแก้ไข้

เนื้อไม้ เป็นยาบำรุงธาตุ บำรุงกระเพาะอาหารในร่างกายให้แข็งแรง แก้อ่อนเพลีย

ผล ทั้งผลสุกและดิบกินแก้เลือดออกตามไรฟัน เป็นยาฝาดสมาน

รากสด ต้มเอาน้ำดื่ม เป็นยาขับพยาธิ บำรุงธาตุ เจริญอาหาร บำรุงกระเพาะอาหาร ตำให้ละเอียดผสมกับสุรา นำมาทาแล้วพอกแก้คัน ใช้พอกบาดแผล (นิจศิริ เรืองรังสี, 2547)

2.2 น้ำผลไม้

2.2.1 ความหมาย

ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 62 (2524) ได้ให้คำจำกัดความของน้ำผักและน้ำผลไม้ว่าหมายถึงเครื่องดื่มที่ทำจากผลไม้หรือผักไม่ว่าจะมีคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตามอาจมีเอทิลแอลกอฮอล์อันเกิดจากธรรมชาติขอส่วนประกอบหรือที่เติมลงไป เพื่อช่วยให้กรรมวิธีการผลิตรวมกันได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งน้ำผักหรือน้ำผลไม้เหล่านี้อาจอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์พร้อมดื่มเข้มข้นหรือชนิดแห้งก็ได้

น้ำผลไม้ หมายถึง ของเหลวที่สกัดจากน้ำผลไม้ในส่วนที่บริโภคได้โดยวิธีบีบคั้นหรือกรรมวิธีเชิงกลอื่นๆ โดยทั่วไปน้ำผลไม้ที่ได้จะขุ่นตามลักษณะของเนื้อเยื่อผลไม้ นอกจากนี้อาจมีส่วนที่เป็นน้ำมันหรือไขมัน เม็ดสี เนื้อ หรือเปลือกผลไม้ผสมอยู่ น้ำผลไม้บางชนิดต้องบริโภคเมื่อผ่านกระบวนการการทำให้ใสแล้ว

2.2.2 ประเภทของน้ำผลไม้

ในทางอุตสาหกรรมทางอาหารนั้น จะแบ่งชนิดของผลิตภัณฑ์น้ำผักน้ำผลไม้เป็นอีกหลายแบบทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณของแข็งทั้งหมดบ้าง ปริมาณกรดบ้าง หรือ ความขุ่นใสของผลิตภัณฑ์บ้าง ชนิดของน้ำผักและผลไม้ที่สำคัญได้แก่ น้ำผลไม้แท้ น้ำผลไม้พร้อมดื่ม น้ำผลไม้เข้มข้น และน้ำผลไม้ชนิดผง

น้ำผลไม้ที่มีวางขายอยู่ตามท้องตลาดมีหลายประเภทดังนี้

1. น้ำผลไม้แท้
2. น้ำผลไม้แท้ชนิดเข้มข้น
3. น้ำผลไม้ดัดแปลงเนคตาร์ (Nectar)
4. น้ำผลไม้ดัดแปลงสควอช (Squash)
5. น้ำผลไม้ในน้ำเชื่อม หรือไซรัปผลไม้
6. น้ำผลไม้คอร์เดียล หรือน้ำผลไม้ในน้ำเชื่อมแบบใส
7. น้ำผลไม้เทียม
8. น้ำผลไม้ชนิดเข้ม หรือน้ำหวานกลิ่นผลไม้เข้มข้น
9. เครื่องดื่มน้ำผลไม้ผง
10. เครื่องดื่มดัดแปลงผง
11. เครื่องดื่มผงอัดแก๊ส

2.2.3 **วิธีการสกัดน้ำผลไม้แท้**

สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

2.2.3.1 **การบีบอัด** (Pressing) เป็นการสกัดน้ำผลไม้โดยใช้แรงอัด เพื่อบีบส่วนที่เป็นของเหลวออกจากผักผลไม้ส่วนมากจะใช้ในกรณีที่ต้องการผลิตน้ำผลไม้ชนิดใส วิธีการสกัดเช่นนี้จะมีผลที่ดีตามมา คือ จะมีอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำผลไม้ที่สกัดได้ต่ำกว่าน้ำผลไม้ที่ได้จากการตีป่น

2.2.3.2 **การตีป่น** (Pulping) เป็นวิธีการสกัดโดยการตีปั่นให้เนื้อของผลไม้มีขนาดเล็กลง มีสภาพเป็นของเหลวกึ่งของแข็ง นิยมใช้กับผลไม้ประเภท มะเขือเทศ เสาวรส มะละกอ ฝรั่ง เป็นต้น

2.2.3.3 **ข้อควรระวังในระหว่างการสกัดน้ำผลไม้**

ในระหว่างการสกัดน้ำผลไม้จะต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ อย่างเหมาะสม มิฉะนั้นอาจทำให้ความขุ่นใส เนื้อสัมผัส และรสชาติของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่ต้องการมาก ความขุ่นใส และเนื้อสัมผัสของน้ำผลไม้ อาจเนื่องมาจากการที่ในผลไม้นั้นมีเอนไซม์ในกลุ่มเพกทิเนส ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวได้ทำปฏิกิริยาขึ้นเมื่อทำการสกัดน้ำผลไม้ โดยที่จะทำให้สารประกอบเพกทินที่มีในผลไม้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ทำให้ละลายน้ำได้ง่ายยิ่งขึ้น และสามารถรวมตัวเป็นเจลได้เมื่อมีน้ำตาลและกรดอยู่ด้วย ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีความขุ่นสูงและไม่ต้องการให้เปลี่ยนสภาพเป็นเจล หรือเป็นเมือกนั้น จำเป็นต้องระวังปฏิกิริยา ของเอนไซม์เพกทิเนสอย่างรวดเร็ว วิธีการที่นิยมใช้ในการหยุดการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว คือ การใช้ความร้อน ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของผัก (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2529)

2.2.4 **ส่วนประกอบของน้ำผลไม้**

2.2.4.1 **กรดซิตริก**

กรดที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ นอกจากช่วยให้ผลิตภัณฑ์รสเปรี้ยวพอเหมาะแล้ว ยังช่วยลดค่า pH ของผลิตภัณฑ์ ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ลดลง และถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่ายขึ้น และถ้าใช้น้ำตาลในผลิตภัณฑ์สูง การเติมกรด จะช่วยให้น้ำตาลทรายบางส่วนแตกตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จึงลดการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ กรดที่ใช้ในการปรุงแต่งผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้จะนิยมใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก ซึ่งนิยมใช้มากที่สุดคือ กรดซิตริก ดังนั้นการคำนวณปริมาณกรด หรือค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์จึงนิยมคำนวณในรูปของกรดซิตริก

2.2.4.2 **น้ำตาล**

น้ำตาลเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีรสหวานละลายน้ำได้ดี น้ำตาลที่พบในน้ำผลไม้ส่วนมากเป็นกลูโคส ฟรักโทส และซูโครสเป็นต้น น้ำตาลนอกจากจะเป็นแหล่งพลังงานของยีสต์และจะถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์แล้วยังทำให้ไวน์มีรสหวาน ซูโครสหรือน้ำตาลทรายเป็นแหล่งของน้ำตาลที่ใช้เติมในน้ำผลไม้ที่มีน้ำตาลอยู่น้อย นอกจากนี้อาจจะใช้น้ำตาลจากแหล่งอื่น เช่น กลูโครสไซรัปและน้ำผึ้ง เป็นต้น น้ำผลไม้ที่มีรสหวานจะมีน้ำตาลอยู่มากจึงเหมาะต่อการผลิตไวน์ เช่น องุ่นมีน้ำตาล 15.4% และน้ำผึ้งมีน้ำตาล 76.4% เป็นต้น ความเข้มข้นของน้ำตาลใช้หน่วย °Brix และวัดโดยใช้เครื่อง hand refractometer น้ำตาลทรายซูโครสนิยมนำมาผลิตน้ำผลไม้เพราะหาง่ายและราคาถูก ส่วนในระดับอุตสาหกรรมจะใช้ ฟรักโทส คอร์นไซรัป หรือ กลูโคสไซรัปเพราะสะดวก

ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้นั้นทางกระทรวงสาธารณสุขไม่อนุญาตให้ใช้สารให้ความหวานอื่นใดนอกจากน้ำตาล ยกเว้น เครื่องดื่มที่มีวัตถุประสงค์พิเศษซึ่งต้องขออนุญาตเป็นกรณีไป น้ำตาลที่ใช้อาจได้แก่ น้ำตาลทราย แบะแซ กลูโคส ฟรักโทส ก็ได้แต่โดยทั่วไปแล้ว นิยมใช้น้ำตาลทรายเป็นส่วนผสม น้ำตาลทรายที่ใช้ควรเป็นน้ำตาลทรายขาวที่ผ่านการฟอกสีมาแล้ว เพื่อป้องกันการเกิดสีคล้ำของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการมีกลิ่นแปลกปลอมอันเนื่องมาจากกากน้ำตาล ที่มีอยู่ในน้ำตาลที่ไม่ได้ฟอกสี

2.2.4.3 **น้ำ**

ความจำเป็นต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดแม้แต่จุลินทรีย์ก็ต้องการน้ำ นอกจากนี้น้ำยังมีผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้อีกด้วย ดังนั้นน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมกับน้ำผลไม้ในการผลิตน้ำผลไม้จึงต้องเป็นน้ำสะอาดไม่มีคลอรีน มีค่า pH 7.0–7.2 ค่าของแข็งทั้งหมดต้องต่ำ ปราศจากจุลินทรีย์และไม่มีไอออนของโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำที่ใช้ผลิตน้ำผลไม้ต้องไม่มีไอออนของเหล็กหรือทองแดงปนอยู่ เพราะจะทำให้สีแดงของน้ำผลไม้เปลี่ยนไปได้

2.3 **สารประกอบฟีนอล** (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลสามารถถูกพบได้ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้มาจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญชาติต่างๆ น้ำผลไม้ ไวน์ เบียร์ ชา และกาแฟ เป็นต้น แต่จะพบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในพืชต่างชนิดกันหรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันแต่มาจากสถานที่ผลิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากการสร้างสารประกอบฟีนอลของพืชจะมีทั้งปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาก็ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น

สารประกอบฟีนอลมีบทบาททั้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารจากพืช เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีรสฝาดและขม และมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาโดยจะทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาล เกิดการพัฒนากลิ่นและมีการสูญเสียสารอาหารบางชนิดได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้อาจเป็นสิ่งที่ต้องการในบางกรณี เช่นการผลิตชาดำหรือโกโก้ แต่อาจเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในบางกรณี เช่น การแปรรูปผักผลไม้ เป็นต้น

การรายงานปริมาณของสารประกอบฟีนอลในอาหารและเครื่องดื่มมีอยู่มากมาย แต่ไม่สามารถที่จะนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์และความแตกต่างของสารประกอบฟีนอลในอาหารซึ่งมีความหลากหลายและแตกต่างกันออกไปตามปัจจัยต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อีกทั้งยังมีสารประกอบฟีนอลอีกมากที่ยังไม่ถูกบ่งชี้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลในอาหารยังไม่มีความสมบูรณ์เพียงพอและในบางครั้งยังสามารถพบว่า มีความขัดแย้งกันเองเกิดขึ้นได้อีกด้วยอย่างไรก็ตามในที่นี้จะขอแสดงตัวอย่างของผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลในอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่างๆที่ได้มาจากพืชไว้ใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลในอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่างๆ ที่ได้จากพืช

Food/ Beverage	Total Polyphenols
Cereals (mg/100 g dm)	
Barley	1200-1500
Corn	30.9
Millet	590-1060
Oats	8.7
Rice	8.6
Sorghum	170-10}260
Wheat	22-40
Legumes (mg/100 g dm)	
Black gram	540-1200
Chickpeas	78-230
Cowpeas	175-590
Common beans	34-280
Green gram	440-800
Pigeon peas	380-1710
Nut (% dm)	
Betel nuts	26-33
Cashew nuts	33.7
Peanuts	0.04
Pecan nuts	8-14
Vegetables (mg 100g fm)	
Brussels sprouts	6-15
Cabbage	25
Leek	20-40
Onion	100-2025
Parsley	55-180
Celery	94
Fruits (mg 100g fm)	
Apple	27-298
Apricot	30-43

Food/ Beverage	Total Polyphenols
Fruits (mg 100g fm)	
Blackcurrant	140-1200
Blueberry	135-280
Cherry	60-90
Cowberry	128
Cranberry	77-247
Gooseberry	22-75
Grape	50-490
Grapefruit	50
Orange	50-100
Peach	10-150
Pear	2-25
Plum	4-225
Raspberry	37-429
Red currant	17-20
Strawberry	38-218
Tomato	85-130
Fruit juices (mg/L)	
Apple juice	2-16
Orange juice	370-7100
	660-1000
Beverages	
Tea leaves (% dm)	20-35
Green	22-33
Black	150-210
Tea cup (mg/200 mL)	0.2-10
Coffee beans (% dm)	200-550
Coffee cup (mg/150 mL)	12-18
Cacao beans (% dm)	
Wine (mg/L)	200-300
White	1000-4000 (6500)
Red	60-100
Beer (mg/L)	

ที่มา : Bravo (1998) อ้างโดยวิวัฒน์ (2545)

2.3.1 **เมตาบอลิซึมของสารประกอบฟีนอล**

มีผลงานวิจัยหลายชิ้นยืนยันอย่างแน่ชัดว่า สารประกอบฟีนอลที่ละลายได้จะสามารถถูกเมตาบอไลซ์ได้ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ โดยสารประกอบฟีนอลอย่างง่ายที่อยู่ในรูปอิสระ (เช่น กรดซินนามิก(cinnamic acid) กรดคูมาริก(p-coumaric acid), กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) , กรดคาเฟอิก(caffeic acid) และอื่นๆ) และ อะกลัยโคน(aglycones) จะสามารถถูกดูดซึมได้โดยตรงที่บริเวณผนังลำไส้เล็ก ในขณะที่ไกลโคไซด์จะต้องถูกย่อยออกเป็น อะกลัยโคนและน้ำตาลก่อนจึงจะสามารถถูกดูดซึมได้ แต่เนื่องจากในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ไม่มีเอนไซม์เบตา-ไกลโคซิเดส (β -ycosidases) เหมาะสมจึงมักไม่มีการดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็ก ไกลโคไซด์จึงต้องผ่านมาที่บริเวณลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีจุลินทรีย์ต่างๆ ช่วยย่อยสลายในอยู่ในรูปของอะกลัยโคน ก่อนจึงจะมีการดูดซึมที่บริเวณส่วนปลายของลำไส้ใหญ่(colon)ได้ แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ไม่สามารถที่จะย่อยสารประกอบฟีนอลได้ทุกชนิดและตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้ คือ insoluble condensed tannins ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะถูกขับออกมาพร้อมกับอุจจาระทั้งหมด

2.3.2 **อิทธิพลของสารประกอบฟีนอลต่อการใช้ประโยชน์สารอาหารของร่างกาย**

คุณสมบัติที่เป็นที่ทราบกันดีของสารประกอบฟีนอลประการหนึ่ง คือ ความสามารถในการรวมตัว และตกตะกอนโปรตีน ซึ่งความสามารถในการรวมตัวกับโปรตีนนั้นเป็นสมบัติของสารประกอบฟีนอลทั่วไป และไม่ก่อให้เกิดปัญหาใดๆ ต่อการย่อยโปรตีนของร่างกายมนุษย์ แต่สารประกอบฟีนอลที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ คือ ประกอบด้วยฟลาโวนอลอย่างน้อย 3 หน่วยขึ้นไปจะสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ ทำให้โปรตีนที่ร่างกายได้รับจากอาหารอยู่ในภาพที่ไม่ละลาย การย่อยสลายโปรตีนจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้และสารประกอบฟีนอลโมเลกุลใหญ่เหล่านี้ยังสามารถรวมตัวกับเอ็นไซม์ต่างๆ ทำให้เอนไซม์สามารถทำงานได้น้อยลง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการย่อยสลายโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบฟีนอลโมเลกุลใหญ่นี้ยังสามารถรวมตัวกับโพลีแซคคาไรด์เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งจะมีผลทำให้ร่างกายสามารถนำคาร์โบไฮเดรตไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง

ส่วนผลกระทบของสารประกอบฟีนอลต่อเมตาบอลิซึมของไขมันนั้นดูจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุด เนื่องจากพบว่าสารประกอบฟีนอลมีผลทำให้มีการขับไขมันออกมาพร้อมกับอุจจาระในปริมาณมากขึ้น และมีการศึกษาถึงบทบาทในการลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดของสัตว์ทดลองที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่มี tannin tannin acid และ tea catechin ซึ่งผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณ high-density lipoprotein (HDL) cholesterol ซึ่งเป็นโคเลสเตอรอลชนิดดี และลดปริมาณ low-density lipoprotein (LDL) cholesterol ซึ่งเป็นโคเลสเตอรอลชนิดเลวลงได้ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้น่าจะมีผลมาจากการลดการดูดซึมโคเลสเตอรอลและเพิ่มการขับกรดน้ำดีออกจากร่างกาย ทำให้ร่างกายจำเป็นต้องใช้โคเลสเตอรอลที่มีอยู่ในการสร้างกรดน้ำดีมากขึ้น

ในกรณีของเกลือแร่ มีรายงานว่าสารประกอบฟีนอลสามารถรวมตัวกับโลหะประจุบวกเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของธาตุเหล็กซึ่งเป็นผลมาจาก galloyl group และ catechol groups ในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล จึงพบว่าสารประกอบฟีนอลในชาเขียว ชาสมุนไพร ชาดำ กาแฟ โกโก้ และไวน์ ล้วนมีผลในการลดการดูดซึมธาตุเหล็กของร่างกายทั้งสิ้น แต่อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าสารประกอบฟีนอลจากถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วแดงไม่มีผลต่อการดูดซึมธาตุเหล็กของร่างกาย ส่วนเกลือแร่ชนิดอื่นที่มีรายงานว่าสารประกอบฟีนอลมีบทบาทต่อการลดการดูดซึมได้แก่ ทองแดง สังกะสี โซเดียมและอะลูมิเนียมในขณะที่มีรายงานว่าสารประกอบฟีนอลไม่มีผลต่อการดูดซึมแมกนีเซียม แคลเซียม และแมงกานีส

2.3.3 คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล

คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอล คือ การเป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagents) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ (free radicals) และการใช้สารประกอบฟีนอลในการป้องกันโรคต่างๆโดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วย การให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$ROO\bullet + PPH \longrightarrow ROOH + PP\bullet$$

$$RO\bullet + PPH \longrightarrow ROH + PP\bullet$$

เมื่อสารประกอบฟีนอลให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สารประกอบฟีนอลเหล่านั้นสามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ถึง2 เท่า ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$ROO\bullet + PP\bullet \longrightarrow ROOPP$$

$$RO\bullet + PP\bullet \longrightarrow ROPP$$

แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลยังขึ้นอยู่กับระบบด้วยดังนั้นการศึกษาหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุรายละเอียดของระบบให้ชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งสับสเตรทที่เป็นเป้าหมายของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าในภาวะที่มีสารประกอบฟีนอลความเข้มข้นสูง พีเอชสูงและมีเหล็กอยู่ด้วยนั้นสารประกอบฟีนอลอาจจะเป็นตัวเริ่มต้นของกระบวนการออกซิเดชันเสียเองได้ (Bravo(1998) อ้างโดยวิวัฒน์ , 2545)

สารประกอบฟีนอลที่ถูกพบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้นสามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด (ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย มัสตาร์ด ข้าว และงา) ผล (ได้แก่ องุ่น ส้ม พริกไทยดำ และโอลีฟ) ใบ (ได้แก่ ชา และเครื่องเทศต่างๆ) และส่วนอื่นๆ (ได้แก่ มันเทศ และหัวหอม) และหนึ่งในสารประกอบฟีนอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันที่เป็นที่รู้จักกันดีอยู่แล้ว คือ วิตามินอี ส่วนสารประกอบฟีนอลอื่นๆ ที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก คือเฟลโวนอยด์(flavonoids) (ได้แก่ ฟลาโวน(flavones), ฟลาโวนอล(flavonols), ไอโซฟลาโวน(isoflavones), แคทิชิน(catechins), ฟลาโวโนน(flavonones) และ คาลโคน (chalcones)) และอนุพันธุ์ของกรดซินนามิก (cinnamic acid derivatives) (ได้แก่กรดคาเฟอิก (caffeic acid), กรดเฟอรูลิก(ferulic acid), กรดคาโรจินิก(chalorgenic acid) และอื่นๆ) โดยจะสามารถพบทั้งเฟลโวนอยด์และอนุพันธุ์กรดซินนามิกได้ในเกือบทุกส่วนของพืช แต่จะมีความแตกต่างกันออกไปในด้านของชนิดและปริมาณ ซึ่งอาจสรุปเป็นแนวโน้มได้ดังตารางที่ 2.2 (Pratt (1992) อ้างโดยวิวัฒน์ , 2545)

ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลในส่วนต่างๆ ของพืช

ส่วนของพืช	ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอล
ผล	Cinnamic acids > catechins ≈ leucoanthocyanins (flavan3,4-diols) > flavonols
ใบ	Flavonols ≈ cinnamic acids > catechins ≈ leucoanthocyanins
เนื้อไม้	Catechins ≈ leucoanthocyanins > flavonols > cinnamic acids
เปลือกไม้	เหมือนในเนื้อไม้แต่จะปริมาณสูงกว่า

ที่มา : Pratt (1992) อ้างโดย วิวัฒน์ (2545)

จากผลการทดลองมากมาย พบว่า ทั้งเฟลโวนอยด์และอนุพันธุ์กรดซินนามิกมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ดีมากในอาหารที่เป็นไขมันและไขมันผสมกับน้ำและปัจจัยที่ส่งเสริมคุณสมบัติดังกล่าว คือ ตำแหน่งและจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลและโครงสร้างอื่นๆ ของโมเลกุล ตัวอย่างเช่น หมู่ไฮดรอกซิลของวงแหวน B ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการพิจารณาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ในกรณีของเฟลโวนอยด์นั้นพบว่าหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง para (C4') จะมีผลให้มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันมากกว่าหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งออร์โธ(ortho) (C2' และ C6') ในขณะที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งเมทา(meta)จะไม่มีผลต่อสมบัติดังกล่าว นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิลที่ C3 (วงแหวน A) และ 4-keto group (C=O ที่คาร์บอนตัวที่ 4 ของวงแหวน C) และ/หรือหมู่ไฮดรอกซิลที่ C5 (วงแหวน A) และ 4-keto group ในโมเลกุลของ flavonoids จะเป็นกลุ่มที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับโลหะซึ่งเป็นการช่วยลดการเกิดออกซิเดชันได้อีกทางหนึ่ง ส่วนหมู่ไฮดรอกซิล ของวงแหวน A ที่ตำแหน่งเมทา (C5 และ C7) และหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C3 และพันธะคู่ระหว่าง C2 และ C3 ในวงแหวน C อาจมีผลเล็กน้อยต่อคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของเฟลโวนอยด์

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลบริสุทธิ์ พบว่า catechin > myricetin = epicatechin = rutin > gallic acid > quercetin > cyaniding (Frankle (1999) อ้างโดย วิวัฒน์ , 2545)

2.3.4 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ดังตัวอย่างต่อไปนี้ คือ

1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)
2. อุณหภูมิ
3. แสง
4. เอนไซม์
5. การรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ

เนื่องจากOH-groupในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลมีบทบาทต่อคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชันดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างซึ่งจะมีผลให้ OH-group เกิดการเปลี่ยนแปลงจึงน่าจะมีผลต่อสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลด้วยเช่นกัน (Jackman and Smith(1996) อ้างโดยวิวัฒน์ , 2545)

อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลโมเลกุลเล็กๆ ระเหยกลายเป็นไอไปได้ ในขณะเฟลโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 โดยมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกันจะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไปโดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและวงแหวน A จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์ตามลำดับ (Jackman and Smith (1996) อ้างโดยวิวัฒน์,2545) และระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ (Kim and Smith(1992) อ้างโดยวิวัฒน์,2545)

แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสลายตัวหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอล เช่น OH-group ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะสามารถเรืองแสง และไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสงแดด นอกจากนี้แสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนให้เกิดเร็วขึ้นด้วย (Jackman and Smith (1996) อ้างโดยวิวัฒน์,2545)

ในสภาพที่มีเอนไซม์ polyphenoloxidase อยู่ด้วยจะเป็นการเร่งการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลบางชนิดให้เกิดได้เร็วขึ้นแต่อัตราเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันออกไปเช่น Fu และคณะ (1992) อ้างโดยวิวัฒน์ , 2545) พบว่า polyphenoloxidase สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ(-)เอพิแคทิชิน ((-)-epicatechin) ได้ดีกว่า (+) แคทิชิน ((+)-catechin)

สารประกอบฟีนอลสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน โพลีแซค-คาไรด์ อัลคาลอยด์และแอนโทไซยานินได้ง่ายและปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบสามารถผันกลับได้หรือไม่ได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอ็นไซม์ และกรด เป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกันและตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนท์รวมกันเป็นสารใหม่ ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ (Haslam *et al.* ,1992 อ้างโดยวิวัฒน์ ,2545) หากปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไปจะทำให้สารประกอบฟีนอลสูญเสียสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันไปได้

2.3.5 บทบาทของสารประกอบฟีนอลกับการป้องกันโรคมะเร็ง

โรคมะเร็งสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่ร่างกายได้รับสารเคมี รังสี หรือไวรัสจากสิ่งแวดล้อม สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับของดีเอ็นเอ ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเซลล์และเนื้อเยื่อขึ้นตามลำดับ และมีรายงานว่า สารประกอบฟีนอลบางชนิดมี บทบาททั้งในด้านส่งเสริมและป้องกันมะเร็งได้ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.3 โดยกลุ่มที่มีบทบาททั้ง 2 ด้านดังกล่าวนี้ คือสารในกลุ่มของฟีนอลและแคทิคอล (catechol) เนื่องจากในสภาพปกติสารดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ ทำให้ไนไตรท์หมดสภาพในการเป็นสารก่อมะเร็ง และส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นควิโนน(quinones) ซึ่งสามารถถูกกำจัดออกจากร่างกายได้ด้วยเอ็นไซม์กลูตาไธโอน ทรานส์เฟอเรส(glutathione transferase) ในกระบวนการทางกำจัดสารเคมีแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย (xenobiotic metabolism) แต่หากร่างกายได้รับฟีนอลและแคทิคอล ในปริมาณสูงมากจนระบบดังกล่าวไม่สามารถกำจัดได้หมด ควินิน(quinines) จะเข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีนและก่อให้เกิดอนุมูลอิสระต่างๆ ซึ่งเท่ากับมีผลในการส่งเสริมให้เกิดโรคมะเร็งขึ้นได้ในขณะที่สารในกลุ่มฟีนอลิค จะมีแต่บทบาทในด้านที่เป็นประโยชน์เท่านั้น คือ จะทำหน้าที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระ ไนไตรท์ และโลหะ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการต่อต้านไวรัสและช่วยส่งเสริมระบบเอ็นไซม์ต่างๆ ในกระบวนการทางกำจัดสารเคมีแปลกปลอมด้วย

ตารางที่ 2.3 บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อการเกิดโรคมะเร็ง

บทบาท	ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอล
Carcinogenic	Catechol, sesamol, caffeic acid, hydroquinone, BHA
Co-carcinogenic	Catechol, caffeic acid, hydroquinone, BHA
Promoting	Phenols, BHA, BHT
Anticarcinogenic	Catechol, quercetin, ellagic acid, chlorogenic acid, BHT, BHA, caffeic acid, tannins, flavanols, other polyphenol

ที่มา : Weisburger (1992) อ้างโดย วิวัฒน์ (2545)

สำหรับกลไกในการป้องกันการเกิดโรคมะเร็งของสารประกอบฟีนอลมีลักษณะเช่นเดียวกันกับ phytochemical อื่นๆ ในพืช ซึ่ง Wattenberg (1995) และวรรณี (1999) รายงานว่าสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. การป้องกันการเกิดสารก่อมะเร็งและการป้องกันการดูดซับสารก่อมะเร็ง
2. การป้องกันไม่ให้สารก่อมะเร็งทำปฏิกิริยากับโมเลกุลเป้าหมาย (blocking agents)
3. การยับยั้งหรือกดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่ได้รับสารก่อมะเร็งไม่ให้เปลี่ยนเป็นเซลล์มะเร็ง (suppressing agents)

สารประกอบฟีนอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันเป็นสารประกอบที่สามารถพบได้ตามธรรมชาติในพืช การนำพืชที่มีสารประกอบฟีนอลมาใช้เป็นอาหารจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มสารต้านออกซิเดชันให้กับร่างกายด้วยวิธีหนึ่ง แต่เนื่องจากข้อมูลในด้านต่างๆ เกี่ยวกับสารประกอบฟีนอลในผักผลไม้ของไทยยังมีอยู่น้อย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์จากผักผลไม้ของไทยในรูปแบบต่างๆ ให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น (วิวัฒน์ ,2545)

2.4 การพาสเจอร์ไรส์

การพาสเจอร์ไรส์ เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่ถึงกับมากพอจะฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ให้หมดไปได้ แต่การใช้ความร้อนระดับปานกลาง ประมาณ 175 °F เวลา 20 นาที เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เนื่องจากน้ำผลไม้ทั่วๆ ไป จะอยู่ในลักษณะที่เป็นกรด หรือ pH ต่ำกว่า 4.5 ฉะนั้นสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียที่เป็นโทษต่อสุขภาพของคนจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การใช้ความร้อนระดับนี้เป็นเพียงใช้ทำลายเนื้อเยื่อหรือที่เรียกว่าเซลล์ของแบคทีเรีย รา และยีสต์เท่านั้น การทำลายเชื้อยีสต์เพียงอย่างเดียวใช้อุณหภูมิขนาด 140-150 °F เวลา 2-3 นาที สำหรับโอกาสที่ใช้อุณหภูมิ 175°F นั้น เป็นการทำลายสปอร์ของพวกราที่มีอยู่ทั่วไป เพราะเชื้อราเป็นพวกที่ต้องการอาหารหรือออกซิเจน ฉะนั้นในเครื่องดื่มที่อัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิถึง 175°F ก็ได้ เพราะต้องการทำลายแต่เฉพาะพวกยีสต์ซึ่งขึ้นได้ในสภาพที่ไม่มีอากาศ ฉะนั้นอาจใช้อุณหภูมิเพียง 150°F เพื่อทำลายเซลล์ของยีสต์ก็เพียงพอแล้ว เพราะกรดในน้ำผลไม้จะเป็นตัวช่วยในการเก็บรักษาน้ำผลไม้ไม่ให้เสื่อมเสีย น้ำผลไม้ที่มีกรดสูงๆ อาจจะใช้อุณหภูมิทำการพาสเจอร์ไรส์เพียง 160-165°F ก็เพียงพอ

2.4.1 วิธีการพาสเจอร์ไรส์

วิธีการพาสเจอร์ไรส์ที่ใช้กันมี 2 ระบบคือ ระบบต่อเนื่องและระบบที่ไม่ต่อเนื่อง เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยท่อโลหะปลอดสนิมหรือท่อทำด้วยหลอดแก้วสำหรับให้น้ำผลไม้ไหลผ่านเข้าไป และภายนอกหลอดหุ้มด้วยท่อหรือหลอดอีกชั้นหนึ่งเป็นทางให้ไอน้ำร้อนหรือน้ำร้อนเข้าไปโดยสามารถควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาที่จะสัมผัสกับน้ำผลไม้ได้ จากนั้นจึงผ่านเข้าเครื่องทำความเย็นทันทีและส่งบรรจุขวด ระบบต่อเนื่องนี้มีหลายแบบ เช่น อาจจะเป็นแบบใช้ความร้อนมาจากไอน้ำ ซึ่งให้ความร้อนค่อนข้างสูงและควบคุมลำบาก และอีกแบบเป็นชนิดที่ได้รับความร้อนมาจากน้ำร้อน ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ปกติจะใช้อุณหภูมิของน้ำร้อนสูงกว่าของน้ำผลไม้ประมาณ 3 °C สำหรับวิธีไม่ต่อเนื่องส่วนใหญ่จะใช้หม้อต้มที่มีไอน้ำอยู่รอบๆ เป็นการให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ธรรมดาก่อนบรรจุ สำหรับอุณหภูมิบรรจุน้ำผลไม้โดยวิธีธรรมดาทั่วๆ ไป จะใช้อุณหภูมิ 175-180 °F บรรจุขวดหรือกระป๋อง แล้วผนึกทันทีแล้วทำให้เย็น การพาสเจอร์ไรส์นอกจากจะกระทำโดยการให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้โดยตรงแล้วอาจจะให้ความร้อนน้ำผลไม้ที่บรรจุแล้วก็ได้อย่างเช่นในขวดหรือกระป๋อง

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ลูกหนามแดง	-	กรุงเทพ และปริมณฑล	ประเทศไทย
3.1.2 น้ำตาลทราย	ตรา มิตรผล	น้ำตาลมิตรผล จำกัด	ประเทศไทย
3.1.3 กรดซิตริก	Ajex	Ajex	ออสเตรเลีย

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์การผลิต

3.2.1.1 อุปกรณ์งานครัว	ตรา หัวม้าลาย	ประเทศไทย
3.2.1.2 เครื่องปั่นผสม	Hamilton beach	สหรัฐอเมริกา
3.2.1.3 เครื่องชั่งขนาด 500 กรัม	Ingship	-
3.2.1.4 นาฬิกาจับเวลา	Casio	ญี่ปุ่น
3.2.1.5 ขวดสำหรับบรรจุ	Wellgrow Glass Industry	ประเทศไทย
3.2.1.6 ผ้าขาวบาง	ร้านเพิ่มพูล	ประเทศไทย
3.2.1.7 เทอร์โมมิเตอร์	Taiwan	ไต้หวัน

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางเคมี

3.2.2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 4 ตำแหน่ง	SARTORIUS GMBH GOTTINGEN type B1209	เยอรมัน
3.2.2.2 กระบอกตวงขนาด 50, 100 ml	Pyrex	เยอรมัน
3.2.2.3 กรวยแก้วขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก	Pyrex	เยอรมัน
3.2.2.4 ขวดบรรจุสารเคมีสีชา ขนาด 500 ml	Pyrex	เยอรมัน
3.2.2.5 ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50, 100, 250, 500 ml	Schott	เยอรมัน
3.2.2.6 บิวเรต ขนาด 250 ml	Pyrex	เยอรมัน

3.2.2.7 บีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 500, 1000 ml	Pyrex	เยอรมัน
3.2.2.8 ปิเปต ขนาด 1, 5, 10 ml	Pyrex	เยอรมัน
3.2.2.9 ฟลาสก์ ขนาด 250 ml	Pyrex	เยอรมัน
3.2.2.10 spectophotometer	Hach company	เยอรมัน
3.2.2.11 12 ½" test tube	Milton roy company	-
3.2.2.12 pH meter	Eutech intruments	ญี่ปุ่น
3.2.2.13 เครื่องวัดสี	Hunter Lab	-

3.2.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.2.3.1 กรดแกลลิก (Gallic acid, $C_7H_6O_5$)	Fluka	สเปน
3.2.3.2 กรดซิตริก (Citric acid, $H_3C_6H_5O_7$)	Ajax	ออสเตรเลีย
3.2.3.3 กรดบอริก (boric acid, H_3BO_3)	MERCK	เยอรมัน
3.2.3.4 กรดออกซาลิก (Oxalic acid, $(COOH)_2.2H_2O$)	Ajax	ออสเตรเลีย
3.2.3.5 กรดอะซิติก (Acetic acid, CH_3COOH)	J.T. Baker	สหรัฐอเมริกา
3.2.3.6 กรดแอสคอบิก (L-ascorbic acid, $C_6H_8O_6$)	Ajax	ออสเตรเลีย
3.2.3.7 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl)	Merck	เยอรมัน
3.2.3.8 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium hydrogen phosphate, Na_2HPO_4)	Ajax	ออสเตรเลีย
3.2.3.9 สารประกอบ 2,6 ไดคลอโรฟีโนลินโดฟีนอล	Ajax	ออสเตรเลีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

(2,6 dichlorophenolindophenol)

3.2.3.10	**สารละลายโฟลินรีเอเจนท์** (Folin-Ciocalteu phenol reagent)	MERCK	**เยอรมัน**
3.2.3.11	**โซเดียมคาร์บอเนต** (Sodium carbonate, Na_2CO_3)	Ajax	**ออสเตรเลีย**
3.2.3.12	**โซเดียมอะซิเตด** (Sodium acetate, $CH_3CHOONa$)	Ajax	**ออสเตรเลีย**
3.2.3.13	**โซเดียมไฮโดรเจรคาร์บอเนต** (Sodium hydrogen carbornate, NaH_2CO_3)	Ajax	**ออสเตรเลีย**
3.2.3.14	**โพแทสเซียมคลอไรด์** (Potassium Chloride, KCl)	Ajax	**ออสเตรเลีย**
3.2.3.15	**โพแทสเซียมเมตาไบซัลเฟต** (Potassium metabisulphite, $K_2S_2O_5$)	Ajax	**ออสเตรเลีย**
3.2.3.16	**โพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต** (PotassiumHydrogenPhthalate,$C_6H_4COOHCOOK$)	Ajax	**ออสเตรเลีย**
3.2.3.17	เอทานอล 95% (Ethanol,C_2H_5OH)	องค์การสุราไทย	ประเทศไทย

3.3 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการอาหาร 710

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พระนครใต้

ที่อยู่ 149 ถนนเจริญกรุง แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

โทรศัพท์ 0-2211-2052, 0-2211-2056 โทรสาร 0-2211-2040

3.4 ระเบียบวิธีวิจัย

3.4.1 การศึกษากรรมวิธีการผลิตลูกหนามแดงพร้อมดื่ม(มะม่วงหาวมะนาวโห่)

นำลูกหนามแดงที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส จำนวน 500 กรัม มาละลายน้ำแข็งและ นำมาผ่าเอาเม็ดออก จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่อง เครื่องปั่นผสม Hamilton beach จนละเอียด แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง เอาส่วนที่เป็นกากออก และกรองซ้ำอีกครั้ง ส่วนที่เป็นของเหลวที่ได้ มาวิเคราะห์ คุณภาพดังต่อไปนี้

3.4.1.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids)

ใช้การวัดด้วย Hand refractometer

3.4.1.2 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ทั้งหมด

ปริมาณกรดหาได้โดยการปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่นำกลั่น ให้มีปริมาณครบ 10 มิลลิลิตร หยด phenolpthalein 1%นำมาไทเทรตด้วย NaOH 0.1 N สังเกตจุดยุติ (end point) จะเปลี่ยนเป็นสีชมพูจาง ๆ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกรดซิตริกตามสูตรที่ (1)

$$\text{Citric acid (g/100ml)} = \frac{(V)(N)(70)(100)}{1000 \times v} \qquad (1)$$

เมื่อ v = ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้

V = ปริมาณของ NaOH ที่ใช้

N = normality ของ NaOH

3.4.1.3 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

นำน้ำลูกหนามแดงที่คั้นได้ไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter

3.4.1.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ใช้การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin – Ciocalteu ตามวิธีการของ เสกสรร วงศ์ศิริ (2546)

ใส่ตัวอย่างน้ำหนามแดง 0.1 ml ลงในขวดวัดปริมาตรที่มี deionized water อยู่ 60 – 75 ml แกว่งขวดวัดปริมาตรเพื่อให้เกิดการผสมกัน เติม Folin – Ciocalteu reagent ลงไป 5 ml แกว่งขวดวัดปริมาตรเพื่อผสมกันอีกครั้ง ภายใน 1 – 8 นาที เติมสารละลาย Sodium carbonate ความเข้มข้น 20 % w/v ลงไป 15 ml ผสมให้เข้ากันก่อนปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ด้วย deionized water ผสมอีกครั้งก่อนเก็บไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดสี (เริ่มต้นจับเวลาทันทีที่เติม Sodium carbonate) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้กราฟมาตรฐานที่เตรียมจาก กรดแกลลิก ซึ่งทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

(1) การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

ชั่งกรดแกลลิกมา 0.02 กรัมละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95% ให้ครบ 50 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดแกลลิกที่เตรียมไว้ใส่ลงในหลอดทดลองหลอดละ 0, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 10 มิลลิลิตร ซึ่งในแต่ละหลอดทดลอง จะมีปริมาณกรดแกลลิคอยู่เท่ากับ 0, 40, 80, 120, 160 แล้ว 200 ไมโครกรัม ตามลำดับ

นำหลอดทดลองทั้งหมดมาเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้น เติมสารละลาย Sodium carbonate (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 10% ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงดังกล่าวกับปริมาณกรดแกลลิกเป็นไมโครกรัม

3.4.1.5 **ปริมาณวิตามินซี**

(1) **สารละลาย** DCP ละลาย DCP 0.05 กรัม และ $NaHCO_3$ 0.04 กรัม ในน้ำกลั่น 400 ml

(2) **สารละลายวิตามินซี มาตรฐาน** ชั่งวิตามินซีที่บริสุทธิ์ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 0.1 กรัม เติม Oxalic acid ลงไป 1 กรัม ละลายน้ำ ปรับปริมาตรให้ครบ 100.00 ml ในขวดปรับปริมาตร 100 ml

(3) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ DCP ปิเปตสารละลายวิตามินซีมาตรฐานที่เตรียมไว้ 2 ml ใน flask ขนาด 250 ml นำไปไตเตรทกับสารละลาย DCP จนสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพู ซึ่งเป็นจุดยุติในการไตเตรท คำนวณหาปริมาณวิตามินซี (mg) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ DCP 1 ml ค่านี้เรียกว่า Equivalency factor

(4) หาปริมาณวิตามินซี ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างที่เตรียมมาแล้วมาไตเตรทกับ DCP จนได้สีชมพูอ่อน ซึ่งสีจะคงตัวอยู่นานกว่า 15 วินาที จดปริมาตร DCP ที่ใช้ 3.4.3.9.5 คำนวณหาปริมาณวิตามินซี

3.4.1.6 **การวัดค่าสี**

ใช้การการวัดค่าสีในระบบ CIE L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสีรุ่น Hunter Lab

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

3.4.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม

3.4.2.1 วิธีการผลิตน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม

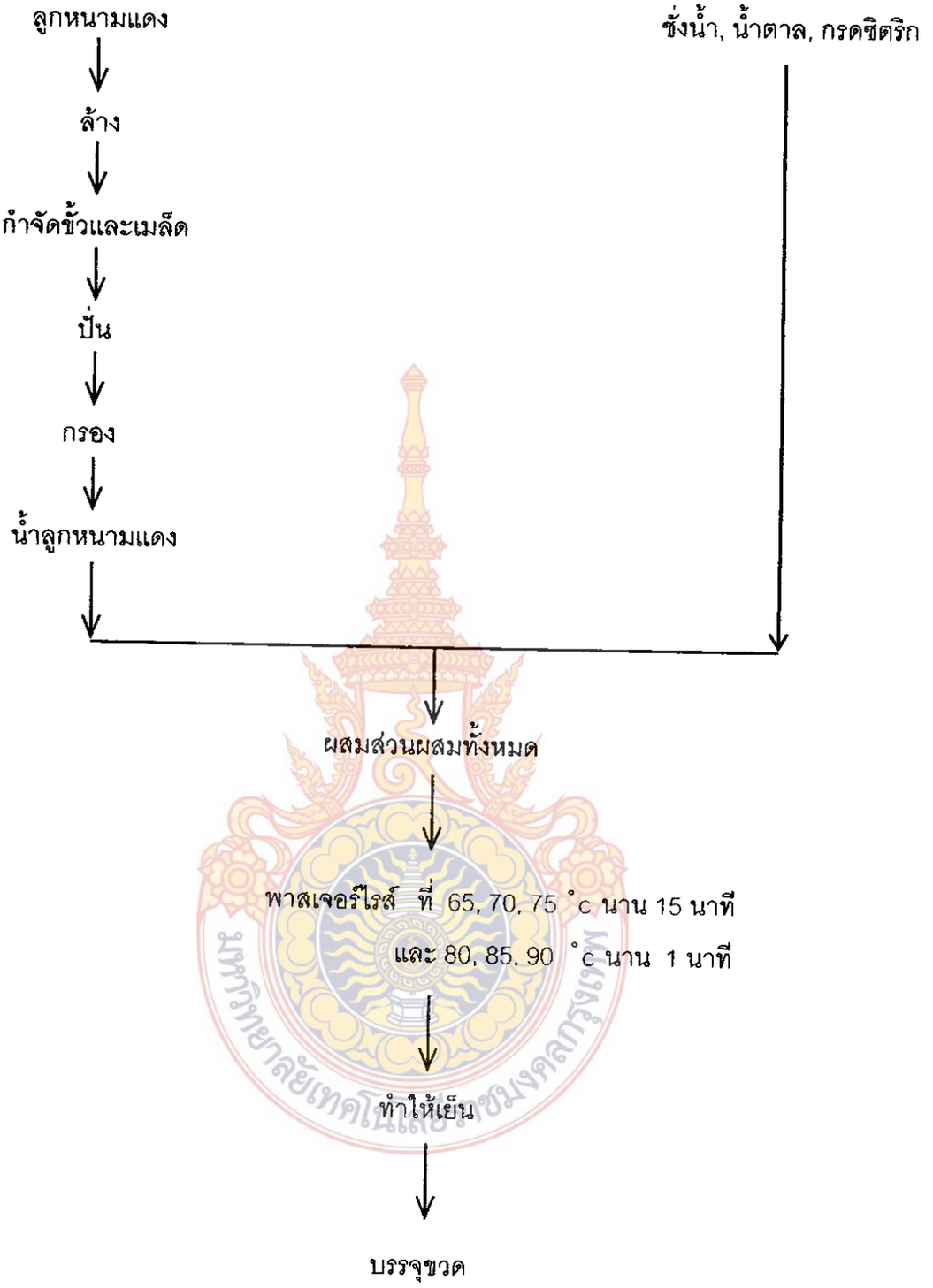
นำลูกหนามแดง ที่แช่เยือกแข็งมาผ่าครึ่ง เอาเมล็ดออก จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นอาหาร และคั้นน้ำ จากนั้นนำน้ำลูกหนามแดงที่ได้มาผลิตน้ำลูกหนามแดงพร้อมดื่ม 25% โดยมีปริมาณของส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 และมีกรรมวิธีการผลิตดังรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม(%)
น้ำสะอาด	52.25
น้ำลูกหนามแดง	25.00
น้ำตาลทราย	22.33
กรดซิตริก	0.42

3.4.2.2 การพาสเจอร์ไรส์ลูกหนามแดง

นำน้ำลูกหนามแดงที่ได้ให้ความร้อนด้วยวิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบ HTST (High Temperature Short Time) ที่อุณหภูมิ 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และ LTLT (Low Temperature Long Time) ที่อุณหภูมิ 65, 70 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันที บรรจุตัวอย่างลงในขวดที่สะอาด เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.1 **กรรมวิธีการผลิตน้ำลูกหนามแดงพาสเจอไรส์พร้อมดื่ม**

นำน้ำลูกหนามแดงที่ได้มาทดสอบด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบรวม โดยการให้คะแนน 9 point ตามวิธี Hedonic Scaling โดยคะแนน 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ตาราง ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (The least Significant difference)

3.4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดงพาสเจอไรส์พร้อมดื่ม

นำตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน ในข้อ 3.4.2.2 มาทำการเก็บรักษาในอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 สัปดาห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษากรรมวิธีการผลิตลูกหนามแดงพร้อมดื่ม(มะม่วงหาวมะนาวโห่)

ในการผลิตน้ำผลไม้มีความจำเป็นที่ต้องทราบถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่มีในผลไม้ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ดังนั้น การทดลองนี้จึงได้ศึกษาถึงองค์ประกอบต่างๆ ของน้ำลูกหนามแดง โดยสกัดน้ำลูกหนามแดงแล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพของน้ำคั้นที่ได้จากผลลูกหนามแดง

ลักษณะคุณภาพ	ปริมาณ
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	8±0.400
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (% as citric acid)	2.8±0.030
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	2.8±0.200
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100 ml)	38.439±0.011
ปริมาณวิตามินซี (µg/ml)	ไม่พบ
ค่าสี	
L*	12.467±0.006
a*	15.493±0.012
b*	3.030±0.000

[1/] ในการคำนวณใช้ค่า $E^{1\%}_{1cm}$ ของผลแครนเบอรี่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 982 (เสกสรร วงศ์ศิริ, 2546) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

4.2 ผลการศึกษาการให้ความร้อนต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์พร้อมดื่ม

ในการผลิตน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์จำเป็นจะต้องมีการทดสอบชิมเพื่อประเมินการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยนำน้ำลูกหนามแดงที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกันได้แก่ อุณหภูมิ 65, 70 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และ อุณหภูมิ 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำมาทดสอบชิมทางด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบรวม โดยคะแนน 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ให้คะแนนแบบ 9 point Hedonic Scale ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงคะแนนเฉลี่ยการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ของน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่ผ่านการให้ความร้อนในอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิและเวลา	คุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส				
	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	ความใส^{n}	ความชอบรวม^{ns}
อุณหภูมิ 65˚c เวลา 15 นาที	6.93±1.413	6.73±1.368	6.97±1.520	6.73±1.258	6.93±1.437
อุณหภูมิ 70˚c เวลา 15 นาที	6.8±1.217	6.37±1.402	6.8±1.270	6.4±1.003	6.7±0.952
อุณหภูมิ 75˚c เวลา 15 นาที	7.03±1.245	6.57±1.524	6.9±1.348	6.47±1.383	6.77±1.382
อุณหภูมิ 80˚c เวลา 1 นาที	7±1.232	6.57±1.040	6.43±1.569	6.7±1.368	6.73±1.507
อุณหภูมิ 85˚c เวลา 1 นาที	7.01±1.081	6.43±1.278	7.1±1.094	6.6±1.248	7±1.050
อุณหภูมิ 90˚c เวลา 1 นาที	6.9±1.094	6.67±1.348	6.9±1.605	6.7±1.208	6.93±1.461

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% แต่ละอุณหภูมิและเวลา มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ดังนี้

ด้านสี

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้านสี พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่ได้ทั้ง 6 อุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ด้านกลิ่น

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้านกลิ่น พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่ได้ทั้ง 6 อุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ด้านรสชาติ

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้านรสชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่ได้ทั้ง 6 อุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ด้านความใส

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้านความใส พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์-ไรส์ 25% ที่ได้ทั้ง 6 อุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ด้านความชอบรวม

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้านความชอบรวม พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่ได้ทั้ง 6 อุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

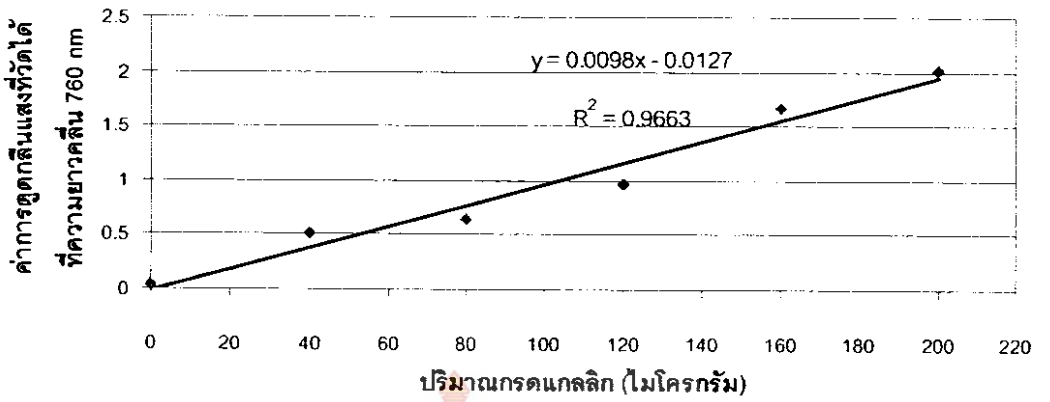
4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดงพาสเจอไรส์พร้อมดื่ม

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเก็บน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% เป็นเวลานานขึ้น จะทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณลดลงดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2

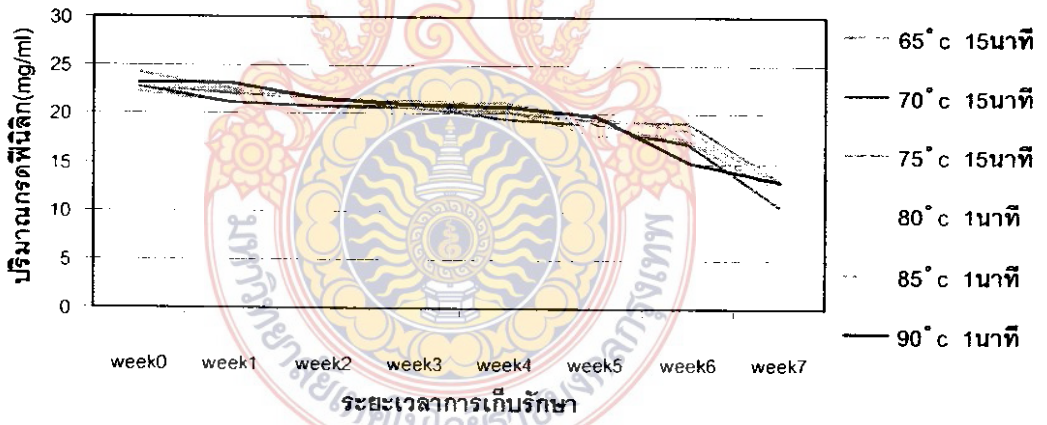
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	22.316±0.004	22.827±0.004	22.929±0.003	23.031±0.005	24.255±0.007	23.235±0.001
1	21.194±0.003	21.194±0.002	22.010±0.002	22.418±0.001	22.724±0.001	23.235±0.001
2	20.786±0.002	20.786±0.002	21.806±0.001	21.602±0.002	21.398±0.001	21.500±0.002
3	20.582±0.002	20.786±0.002	20.786±0.002	21.398±0.002	21.398±0.001	20.990±0.002
4	20.378±0.003	19.459±0.001	20.276±0.002	21.092±0.002	21.194±0.002	20.888±0.003
5	17.929±0.002	18.949±0.002	19.255±0.003	18.847±0.004	19.663±0.004	19.867±0.003
6	17.214±0.003	16.908±0.002	19.051±0.002	17.520±0.003	18.337±0.002	15.173±0.003
7	12.214±0.003	10.480±0.004	13.235±0.003	13.541±0.003	12.929±0.001	13.031±0.002

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



ภาพที่ 4.1 **กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด**



ภาพที่ 4,2 **ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์** 25% **ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ** 10 **องศาเซลเซียส**

เมื่อพิจารณาค่าสีในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.4 – 4.7) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดง ค่า L* ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับผลการทดลองของเสกสรร วงศ์ศิริ (2546) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีระหว่างการเก็บรักษาน้ำเม่า 25% ซึ่งมีค่าสี L* เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้ค่า L* ที่ลดลงเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน ในผลิตภัณฑ์ ระหว่างการเก็บรักษา ขณะที่ค่า a* ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงสีแดงในน้ำลูกหนามแดง ระหว่างการเก็บรักษาลดลง แสดงแนวโน้มการเกิดสีน้ำตาล

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสีเพอริเมอริกในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ปริมาณสีเพอริเมอริก/PC (O.D. units)					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	0.853	0.893	0.853	0.834	0.056	0.855
1	0.895	0.896	0.853	0.834	0.821	0.855
2	0.943	0.896	0.88	0.873	0.821	0.873
3	0.951	0.911	0.912	0.929	0.895	0.901
4	0.951	0.993	0.945	0.948	0.931	0.944
5	0.97	1.014	0.992	0.978	0.963	0.949
6	0.981	1.019	1.005	0.983	0.975	1.005
7	1.053	1.084	1.186	1.029	1.032	1.006

ตารางที่ 4.5 ค่าสี L* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ค่าสี L*					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	8.700±0.026	8.690±0.210	7.597±0.031	6.537±0.067	6.127±0.076	6.413±0.074
1	9.583±0.110	10.573±0.015	10.227±0.040	10.227±0.131	10.413±0.031	10.300±0.020
2	10.407±0.015	10.783±0.031	10.293±0.017	10.720±0.035	10.473±0.020	10.35±0.036
3	10.843±0.011	10.830±0.015	10.340±0.012	10.743±0.016	10.803±0.041	10.513±0.040
4	10.863±0.017	11.170±0.060	10.783±0.009	10.963±0.013	11.153±0.050	10.633±0.027
5	11.327±0.009	11.903±0.011	11.277±0.025	11.337±0.020	11.497±0.007	10.767±0.020
6	12.057±0.037	13.033±0.011	11.707±0.012	11.450±0.042	11.517±0.007	10.910±0.025
7	13.037±0.020	13.630±0.061	13.610±0.146	11.860±0.006	11.533±0.045	11.373±0.009

ตารางที่ 4.6 ค่าสี a* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ค่าสี a*					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	11.373±0.001	12.560±0.006	13.233±0.017	13.140±0.012	13.170±0.006	13.527±0.009
1	10.91±0.000	12.443±0.018	13.047±0.012	12.973±0.009	12.747±0.012	12.763±0.015
2	10.767±0.000	12.027±0.014	13.04±0.010	12.730±0.006	12.650±0.012	12.717±0.014
3	10.633±0.001	11.453±0.007	12.843±0.010	12.477±0.021	11.900±0.079	12.220±0.012
4	10.513±0.000	11.387±0.025	12.113±0.067	11.483±0.028	11.757±0.007	11.767±0.005
5	10.350±0.030	10.567±0.010	10.230±0.000	10.213±0.009	11.287±0.016	11.350±0.030
6	10.300±0.000	9.147±0.118	8.723±0.057	8.340±0.040	6.780±0.103	7.853±0.178
7	6.413±0.000	5.573±0.236	6.393±0.423	5.013±0.199	4.173±0.139	3.403±0.283

ตารางที่ 4.7 ค่าสี b* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ค่าสี b*					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	3.450±0.000	3.133±0.000	4.257±0.030	3.013±0.006	3.370±0.006	4.097±0.006
1	2.750±0.259	2.180±0.123	1.800±0.235	2.160±0.137	1.937±0.169	2.153±0.190
2	3.263±0.012	3.587±0.006	3.837±0.015	3.917±0.015	3.650±0.010	3.703±0.015
3	3.510±0.010	3.663±0.015	4.647±0.045	4.217±0.025	3.870±0.020	3.580±0.020
4	0.817±0.153	0.623±0.372	1.233±0.130	0.403±0.208	0.433±0.278	0.267±0.165
5	3.470±0.010	3.350±0.050	4.040±0.020	4.507±0.012	4.187±0.015	4.677±0.015
6	3.317±0.055	3.373±0.025	4.227±0.050	4.393±0.045	4.540±0.062	4.627±0.065
7	3.343±0.071	3.497±0.015	3.447±0.040	4.120±0.062	4.240±0.035	4.230±0.030

จากการเปลี่ยนแปลงของค่า L* และ a* ดังกล่าวส่งผลให้ค่า ΔE* ในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำลูกหนามแดงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับที่เวลา 0 สัปดาห์ โดยหาค่า ΔE* ที่มากกว่า 1 แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

เมื่อนำค่าสีที่ได้จากการวัดในระบบ CIE L* a* b* มาคำนวณเป็นค่า C* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มของผลิตภัณฑ์ และค่า ΔH* ซึ่งค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี (ตารางที่ 4.9 และ 4.10) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดง ค่า ΔH* เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีเกิดขึ้น

ตารางที่ 4.8 ค่าสี ΔE* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ΔE*					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	1.577	1.073	0.517	0.805	2.212	2.178
1	1.577	1.086	0.540	1.186	3.151	2.254
2	2.164	1.190	0.629	1.308	3.151	2.774
3	2.164	1.190	0.858	1.422	3.155	2.774
4	2.847	1.313	1.083	1.614	3.193	2.863
5	3.708	1.439	1.083	1.614	3.24	2.863
6	3.966	2.135	2.128	2.353	3.444	2.968
7	4.115	2.135	2.128	2.353	3.444	3.163

ตารางที่ 4.9 ค่าสี C* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสงระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	C*					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	14.134	13.171	13.593	13.658	12.176	12.276
1	13.901	13.152	13.319	13.170	11.770	12.039
2	13.594	12.943	13.245	12.734	11.765	11.163
3	13.481	12.893	13.166	12.513	11.490	11.085
4	12.945	12.633	12.551	12.025	11.404	11.085
5	12.945	12.633	12.551	12.025	11.404	10.999
6	11.885	11.251	11.251	11.197	10.545	10.916
7	11.885	11.251	11.251	11.197	10.545	10.916

ตารางที่ 4.10 ค่าสี ΔH^* ในน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ที่บรรจุในขวดแก้วโปร่งแสง ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ΔH^*					
	65°C 15นาที	70°C 15นาที	75°C 15นาที	80°C 1นาที	85°C 1นาที	90°C 1นาที
0	0.015	0.016	0.467	0.513	1.832	0.745
1	0.015	0.016	0.501	0.808	1.986	0.745
2	0.066	0.934	0.545	0.808	1.986	0.938
3	0.270	0.934	0.572	0.887	2.347	0.938
4	0.615	1.029	0.572	0.893	2.347	1.386
5	0.615	1.065	0.595	0.893	2.596	1.577
6	0.665	1.24	0.595	1.063	2.605	1.854
7	0.892	1.434	0.704	1.368	2.782	2.068

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. น้ำคั้นที่ได้จากลูกหนามแดงมี pH 2.8 ± 0.2 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 8 ± 0.4 °Brix สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 38.439±0.011mg/100 ml และตรวจไม่พบวิตามินซี

2. อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% คือ 85 องศาเซลเซียส 1นาที

3. เมื่อนำน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% ไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25%ได้รับความชอบต่อสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบรวมอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางในทุกตัวอย่าง

4. ระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ 25% มีผลต่อสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ค่า ΔE^*และค่า ΔH^* ของน้ำลูกหนามแดงเพิ่มขึ้นตลอดเวลาระหว่างการเก็บรักษา แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บรรณานุกรม

กนกมณฑล ศรศรีวิชัย. 2523. **การเก็บรักษาผลผลิตการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว** : เทคโนโลยีและสรีรวิทยา ธนบรรณการพิมพ์ เชียงใหม่.

กนกรส คงหอม. 2547. **ผลของน้ำตาลที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน ในน้ำลูกหว้าหมัก**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, (พฤกษ์เศรษฐกิจ)คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิจศิริ เรืองรังสี. 2547. **สมุนไพรไทย เล่ม 1**. กรุงเทพฯ : บีเฮลท์ตี้.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2529. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลา – นครินทร์ สงขลา.

รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์. 2549. **สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติอมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน นครปฐม.

เสกสรร วงศ์ศิริ. 2546. **ผลของกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานินในน้ำเม่า**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เอื้อมพร วีสมหมาย. ม.ป.ป. **"ฐานข้อมูลพรรณไม้ที่ใช้ในงานสถาปัตยกรรม"** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://158.108.89.200/agbbc/Plant%20for%20Landscape%20WebSite/Webpage/Shrubs/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%81%E0%B8%94%E0%B8%87.html (วันที่สืบค้น 27 ธันวาคม 2550)

เอื้อมพร วีสมหมาย. ม.ป.ป. "เครื่องดื่มน้ำผลไม้" [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก : http://bisd.dip.go.th/agro/HTML/eBooking/juices1.asp

(วันที่สืบค้น 4 มกราคม 2551)

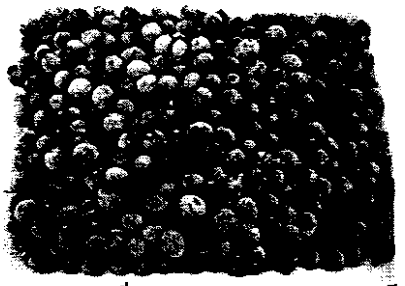
_____.ม.ป.ป. "โครงสร้างแอนโทไซยานิน" [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก : http://images.google.co.th/images? svnum=10&um=1&hl=th&lr=lang_th&q=anthocyanin&revid=346955935&sa=X&oi=revisions_inline&resnum=0&ct=broad-revision&cd=1

(วันที่สืบค้น 4 มกราคม 2551)

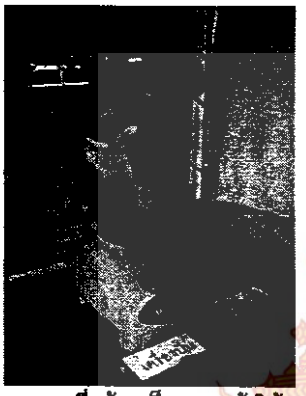
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ภาคผนวก



ลูกหนามแดงที่นำออกมาจากช่องแช่เยือกแข็ง

การควักเอาเม็ดออกจากผลลูกหนามแดง



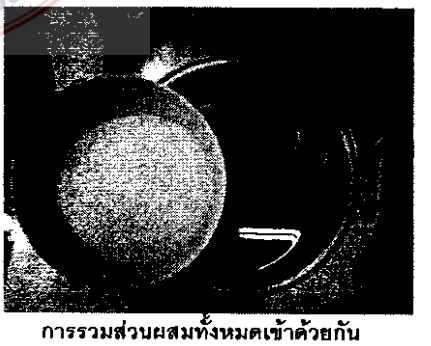
การปั่นลูกหนามแดงที่ควักเม็ดออกแล้วให้ละเอียด

การคั้นน้ำลูกหนามแดงโดยใช้ผ้าขาวบาง

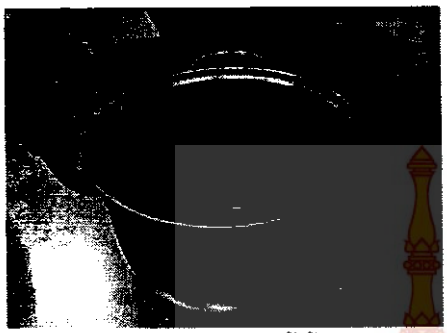
น้ำคั้นที่ได้จากลูกหนามแดง และกาก

การผสมน้ำเปล่ารวมกับน้ำคั้นลูกหนามแดง

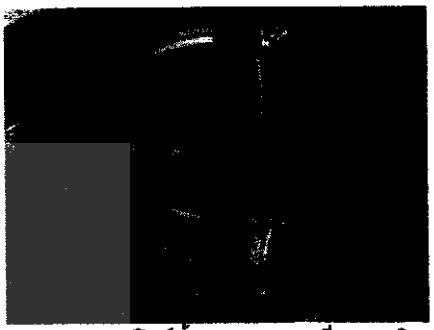
การผสมกรดซิตริกรวมกับน้ำตาลทราย



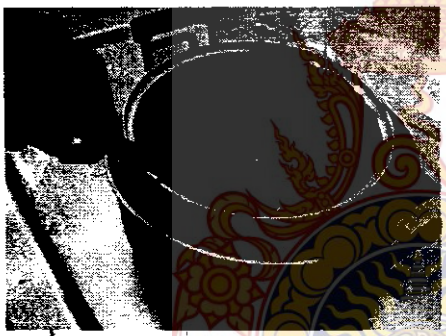
การรวมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน



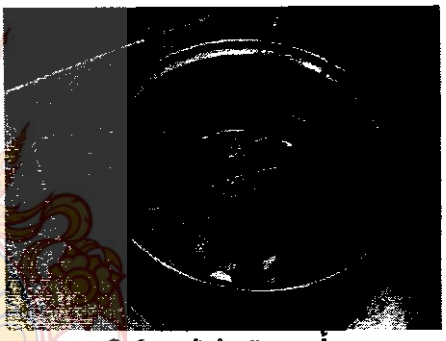
การคนส่วนผสมให้เข้ากัน



การพาสเจอร์ไรส์น้ำลูกหนามแดงที่อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน



การทำน้ำลูกหนามแดงที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วให้เย็น



การพาสเจอร์ไรส์ขวดแก้วสำหรับบรรจุน้ำลูกหนามแดง

การบรรจุน้ำลูกหนามแดงพาสเจอร์ไรส์ลงในขวดแก้วโปร่ง

ผลิตภัณฑ์น้ำลูกหนามแดงพร้อมดื่ม

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธีFolin – Ciocalteu

(เสกสรร วงศ์ศิริ, 2546)

การคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

$$y = 0.0098x - 0.0127$$

โดยที่

y = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

x = ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตารางภาคผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin – Ciocalteu

ระยะเวลา (สัปดาห์)	อุณหภูมิและเวลา	y	y + 0.0127	$\frac{y + 0.0127}{0.0098}$
0	65°c 15นาที	0.115	0.1277	22.316
	70°c 15นาที	0.120	0.1327	22.316
	75°c 15นาที	0.117	0.1297	22.316
	80°c 1นาที	0.090	0.1027	22.316
	85°c 1นาที	0.107	0.1197	22.316
	90°c 1นาที	0.120	0.1327	22.316
1	65°c 15นาที	0.215	0.2277	21.194
	70°c 15นาที	0.197	0.2097	21.194
	75°c 15นาที	0.191	0.2037	21.194
	80°c 1นาที	0.211	0.2237	21.194
	85°c 1นาที	0.206	0.2187	21.194
	90°c 1นาที	0.207	0.2197	21.194

2	65˚c 15นาที	0.215	0.2277	20.786
	70˚c 15นาที	0.195	0.2077	20.786
	75˚c 15นาที	0.176	0.1887	21.806
	80˚c 1นาที	0.191	0.2037	21.602
	85˚c 1นาที	0.191	0.2037	21.398
	90˚c 1นาที	0.199	0.2117	21.500
3	65˚c 15นาที	0.136	0.1487	20.582
	70˚c 15นาที	0.210	0.2227	20.786
	75˚c 15นาที	0.201	0.2137	20.786
	80˚c 1นาที	0.173	0.1857	21.398
	85˚c 1นาที	0.187	0.1997	21.398
	90˚c 1นาที	0.213	0.2257	20.99
4	65˚c 15นาที	0.193	0.2057	20.378
	70˚c 15นาที	0.225	0.2377	19.459
	75˚c 15นาที	0.212	0.2247	20.276
	80˚c 1นาที	0.191	0.2037	21.092
	85˚c 1นาที	0.195	0.2077	21.194
	90˚c 1นาที	0.194	0.2067	20.888
5	65˚c 15นาที	0.182	0.1947	17.929
	70˚c 15นาที	0.180	0.1927	18.949
	75˚c 15นาที	0.203	0.2157	19.255
	80˚c 1นาที	0.195	0.2077	18.847
	85˚c 1นาที	0.163	0.1757	19.663
	90˚c 1นาที	0.197	0.2097	19.867

6	65°c 15นาที	0.198	0.2107	17.214
	70°c 15นาที	0.197	0.2097	16.908
	75°c 15นาที	0.186	0.1987	19.051
	80°c 1นาที	0.178	0.1907	17.520
	85°c 1นาที	0.189	0.2017	18.337
	90°c 1นาที	0.172	0.1847	15.173
7	65°c 15นาที	0.192	0.2047	12.214
	70°c 15นาที	0.167	0.1797	10.480
	75°c 15นาที	0.174	0.1867	13.235
	80°c 1นาที	0.153	0.1657	13.541
	85°c 1นาที	0.156	0.1687	12.929
	90°c 1นาที	0.159	0.1717	13.031

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การคำนวณค่าของการเปลี่ยนสี ค่า Chroma และ ค่า Hue difference
ตามวิธีของ เสกสรร วงศ์ศิริ (2546)

การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสี ดังนี้

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

โดยที่

ΔL^* = ค่า L^* ของน้ำหนามแดง 25 % หลังการพาสเจอร์ไรส์ - ค่า L^* ของ น้ำหนามแดง 25 % ก่อนการพาสเจอร์ไรส์

Δa^* = ค่า a^* ของน้ำหนามแดง 25 % หลังการพาสเจอร์ไรส์ - ค่า a^* ของน้ำหนามแดง 25 % ก่อนการพาสเจอร์ไรส์

Δb^* = ค่า b^* ของน้ำหนามแดง 25 % หลังการพาสเจอร์ไรส์ - ค่า b^* ของน้ำหนามแดง 25 % ก่อนการพาสเจอร์ไรส์

การคำนวณค่า Chroma ดังนี้

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

การคำนวณค่า Hue differenceตามสูตรที่ (5)

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ตารางภาคผนวกที่ 2 การคำนวณค่าของการเปลี่ยนสี ค่า Chroma และ ค่า Hue difference

ระยะเวลา (สัปดาห์)	อุณหภูมิ และเวลา	ΔL^*	$(\Delta L^*)^2$	Δa^*	$(\Delta a^*)^2$	Δb^*	$(\Delta b^*)^2$	$(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2$	$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$
0	65˚c 15นาที	-1.530	2.341	-1.514	2.292	0.220	0.048	4.681	1.577
	70˚c 15นาที	-1.540	2.372	-0.327	0.107	-0.097	0.009	2.488	1.073
	75˚c 15นาที	-2.633	6.933	0.346	0.120	1.027	1.055	8.107	0.517
	80˚c 1นาที	-3.693	13.638	0.253	0.064	-0.217	0.047	13.749	0.805
	85˚c 1นาที	-4.103	16.835	0.283	0.080	0.140	0.020	16.934	2.212
	90˚c 1นาที	-3.817	14.569	0.64	0.410	0.867	0.752	15.731	2.178
1	65˚c 15นาที	-0.647	0.419	-1.977	3.909	-0.480	0.230	4.558	1.577
	70˚c 15นาที	0.343	0.118	-0.444	0.197	-1.050	1.103	1.417	1.086
	75˚c 15นาที	-0.003	$-9.^{-06}$	0.16	0.026	-1.430	2.045	2.071	0.54
	80˚c 1นาที	-0.003	$-9.^{-06}$	0.086	0.007	-1.070	1.145	1.152	1.186
	85˚c 1นาที	0.183	0.033	-0.14	0.020	-1.293	1.672	1.725	3.151
	90˚c 1นาที	0.070	0.005	-0.124	0.015	-1.077	1.160	1.180	2.254

2	65˚c 15นาที	0.177	0.031	-2.12	4.494	0.033	0.001	4.527	2.164
	70˚c 15นาที	0.553	0.306	-0.86	0.740	0.357	0.127	1.173	1.19
	75˚c 15นาที	0.063	0.004	0.153	0.023	0.607	0.368	0.396	0.629
	80˚c 1นาที	0.490	0.240	-0.157	0.025	0.687	0.472	0.737	1.308
	85˚c 1นาที	0.243	0.059	-0.237	0.056	0.420	0.176	0.292	3.151
	90˚c 1นาที	0.120	0.014	-0.17	0.029	0.473	0.224	0.267	2.774
3	65˚c 15นาที	0.613	0.376	-2.254	5.081	0.280	0.078	5.535	2.164
	70˚c 15นาที	0.600	0.360	-1.434	2.056	0.433	0.187	2.604	1.19
	75˚c 15นาที	0.110	0.012	-0.044	0.002	1.417	2.008	2.022	0.858
	80˚c 1นาที	0.513	0.263	-0.41	0.168	0.987	0.974	1.405	1.422
	85˚c 1นาที	0.573	0.328	-0.987	0.974	0.640	0.410	1.712	3.155
	90˚c 1นาที	0.283	0.080	-0.667	0.445	0.350	0.123	0.647	2.774
4	65˚c 15นาที	0.633	0.401	-2.374	5.636	-2.413	5.823	11.859	2.847
	70˚c 15นาที	0.94	0.884	-1.5	2.250	-2.607	6.796	9.930	1.313
	75˚c 15นาที	0.553	0.306	-0.774	0.599	-1.997	3.988	4.893	1.083
	80˚c 1นาที	0.733	0.537	-1.404	1.971	-2.827	7.992	10.500	1.614
	85˚c 1นาที	0.923	0.852	-1.13	1.277	-2.797	7.823	9.952	3.193
	90˚c 1นาที	0.403	0.162	-1.12	1.254	-2.963	8.779	10.196	2.863

5	65°c 15นาที	1.097	1.203	-2.537	6.436	0.240	0.058	7.697	3.708
	70°c 15นาที	1.673	2.799	-2.32	5.382	0.120	0.014	8.196	1.439
	75°c 15นาที	1.047	1.096	-2.657	7.060	0.810	0.656	8.812	1.083
	80°c 1นาที	1.107	1.225	-2.674	7.150	1.277	1.631	10.006	1.614
	85°c 1นาที	1.267	1.605	-1.6	2.560	0.957	0.916	5.081	3.24
	90°c 1นาที	0.537	0.288	-1.537	2.362	1.447	2.094	4.745	2.863
6	65°c 15นาที	1.827	3.338	-2.587	6.693	0.087	0.008	10.038	3.966
	70°c 15นาที	2.803	7.857	-3.74	13.988	0.143	0.020	21.865	2.135
	75°c 15นาที	1.477	2.182	-4.164	17.339	0.997	0.994	20.514	2.128
	80°c 1นาที	1.220	1.488	-4.547	20.675	1.163	1.353	23.516	2.353
	85°c 1นาที	1.287	1.656	-6.107	37.295	1.310	1.716	40.668	3.444
	90°c 1นาที	0.680	0.462	-5.034	25.341	1.397	1.952	27.755	2.968
7	65°c 15นาที	2.807	7.879	-6.474	41.913	0.113	0.013	49.805	4.115
	70°c 15นาที	3.400	11.560	-7.314	53.495	0.267	0.071	65.126	2.135
	75°c 15นาที	3.380	11.424	-6.494	42.172	0.217	0.047	53.644	2.128
	80°c 1นาที	1.630	2.657	-7.874	62.000	0.890	0.792	65.449	2.353
	85°c 1นาที	1.303	1.698	-8.714	75.934	1.010	1.020	78.652	3.444
	90°c 1นาที	1.143	1.306	-9.484	89.946	1.000	1.000	92.253	3.163

ตารางภาคผนวกที่ 3 การคำนวณค่า Chroma

ระยะเวลา (สัปดาห์)	อุณหภูมิและเวลา	a*	$(a^*)^2$	b*	$(b^*)^2$	$(a^*)^2 + (b^*)^2$	C* =	$[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$
0	65˚c 15นาที	11.373	129.345	3.45	11.903	141.248		1.962
	70˚c 15นาที	12.56	157.754	3.133	9.816	167.569		0.116
	75˚c 15นาที	13.233	175.112	4.257	18.122	193.234		0.379
	80˚c 1นาที	13.140	172.660	3.013	9.078	181.738		0.038
	85˚c 1นาที	13.170	173.449	3.370	11.357	184.806		0.095
	90˚c 1นาที	13.527	182.980	4.097	16.785	199.765		0.719
1	65˚c 15นาที	10.910	119.028	2.750	7.563	126.591		4.139
	70˚c 15นาที	12.443	154.828	2.180	4.752	159.581		0.427
	75˚c 15นาที	13.047	170.224	1.800	3.240	173.464		0.013
	80˚c 1นาที	12.973	168.299	2.160	4.666	172.964		0.018
	85˚c 1นาที	12.747	162.486	1.937	3.752	166.238		0.154
	90˚c 1นาที	12.763	162.894	2.153	4.635	167.530		0.117

2	65˚c 15นาที	10.767	115.928	3.263	10.647	126.575	4.141
	70˚c 15นาที	12.027	144.649	3.587	12.867	157.515	0.540
	75˚c 15นาที	13.04	170.042	3.837	14.723	184.764	0.094
	80˚c 1นาที	12.73	162.053	3.917	15.343	177.396	0.001
	85˚c 1นาที	12.650	160.023	3.650	13.323	173.345	0.014
	90˚c 1นาที	12.717	161.722	3.703	13.712	175.434	0.002
3	65˚c 15นาที	10.633	113.061	3.510	12.320	125.381	4.361
	70˚c 15นาที	11.453	131.171	3.663	13.418	144.589	1.590
	75˚c 15นาที	12.843	164.943	4.647	21.595	186.537	0.139
	80˚c 1นาที	12.477	155.676	4.217	17.783	173.459	0.013
	85˚c 1นาที	11.900	141.610	3.870	14.977	156.587	0.596
	90˚c 1นาที	12.220	149.328	3.580	12.816	162.145	0.305
4	65˚c 15นาที	10.513	110.523	0.817	0.667	111.191	7.513
	70˚c 15นาที	11.387	129.664	0.623	0.388	130.052	3.540
	75˚c 15นาที	12.113	146.725	1.233	1.520	148.245	1.232
	80˚c 1นาที	11.483	131.859	0.403	0.162	132.022	3.224
	85˚c 1นาที	11.757	138.227	0.433	0.187	138.415	2.312
	90˚c 1นาที	11.767	138.462	0.267	0.071	138.534	2.297

5	65˚c 15นาที	10.350	107.123	3.470	12.041	119.163	5.614
	70˚c 15นาที	10.567	111.661	3.350	11.223	122.884	4.841
	75˚c 15นาที	10.230	104.653	4.040	16.322	120.975	5.229
	80˚c 1นาที	10.213	104.305	4.507	20.313	124.618	4.504
	85˚c 1นาที	11.287	127.396	4.187	17.531	144.927	1.555
	90˚c 1นาที	11.350	128.823	4.677	21.874	150.697	1.020
6	65˚c 15นาที	10.300	106.090	3.317	11.002	117.092	6.075
	70˚c 15นาที	9.147	83.668	3.373	11.377	95.045	12.507
	75˚c 15นาที	8.723	76.091	4.227	17.868	93.958	12.905
	80˚c 1นาที	8.340	69.556	4.393	19.298	88.854	14.895
	85˚c 1นาที	6.780	45.968	4.540	20.612	66.580	26.275
	90˚c 1นาที	7.853	61.670	4.627	21.409	83.079	17.396
7	65˚c 15นาที	6.413	41.127	3.343	11.176	52.302	36.646
	70˚c 15นาที	5.573	31.058	3.497	12.229	43.287	44.975
	75˚c 15นาที	6.393	40.870	3.447	11.882	52.752	36.271
	80˚c 1นาที	5.013	25.130	4.120	16.974	42.105	46.197
	85˚c 1นาที	4.173	17.414	4.240	17.978	35.392	53.825
	90˚c 1นาที	3.403	11.580	4.230	17.893	29.473	61.728

ตารางภาคผนวกที่ 4 การคำนวณค่า Hue difference

ระยะเวลา (สัปดาห์)	อุณหภูมิ และเวลา	ΔE^*	$(\Delta E^*)^2$	ΔL	$(\Delta L^*)^2$	ΔC^*	$(\Delta C^*)^2$	$(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2$	$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2}$
0	65°c 15นาที	1.577	2.487	-1.530	2.341	-1.401	1.962	0.378	0.015
	70°c 15นาที	1.073	1.151	-1.540	2.372	-0.341	0.116	0.526	0.016
	75°c 15นาที	0.517	0.267	-2.633	6.933	0.615	0.379	0.796	0.467
	80°c 1นาที	0.805	0.648	-3.693	13.638	0.195	0.038	0.073	0.513
	85°c 1นาที	2.212	4.893	-4.103	16.835	0.309	0.095	0.004	1.832
	90°c 1นาที	2.178	4.744	-3.817	14.569	0.848	0.719	0.442	0.745
1	65°c 15นาที	1.577	2.487	-0.647	0.419	-2.034	4.139	0.357	0.015
	70°c 15นาที	1.086	1.179	0.343	0.118	-0.653	0.427	0.873	0.016
	75°c 15นาที	0.54	0.292	-0.003	$-9.^{-06}$	-0.115	0.013	2.057	0.501
	80°c 1นาที	1.186	1.407	-0.003	$-9.^{-06}$	-0.134	0.018	1.134	0.808
	85°c 1นาที	3.151	9.929	0.183	0.033	-0.392	0.154	1.538	1.986
	90°c 1นาที	2.254	5.081	0.070	0.005	-0.342	0.117	1.058	0.745

2	65°c 15นาที	2.164	4.683	0.177	0.031	-2.035	4.141	0.354	0.938
	70°c 15นาที	1.19	1.416	0.553	0.306	-0.735	0.540	0.327	1.986
	75°c 15นาที	0.629	0.396	0.063	0.004	0.307	0.094	0.297	0.808
	80°c 1นาที	1.308	1.711	0.490	0.240	0.033	0.001	0.496	0.545
	85°c 1นาที	3.151	9.929	0.243	0.059	-0.120	0.014	0.218	0.934
	90°c 1นาที	2.774	7.695	0.120	0.014	-0.040	0.002	0.251	0.066
3	65°c 15นาที	2.164	4.683	0.613	0.376	-2.088	4.361	0.798	0.27
	70°c 15นาที	1.19	1.416	0.600	0.360	-1.261	1.590	0.653	0.934
	75°c 15นาที	0.858	0.736	0.110	0.012	0.372	0.139	1.871	0.572
	80°c 1นาที	1.422	2.022	0.513	0.263	-0.115	0.013	1.129	0.887
	85°c 1นาที	3.155	9.954	0.573	0.328	-0.772	0.596	0.788	2.347
	90°c 1นาที	2.774	7.695	0.283	0.080	-0.552	0.305	0.263	0.938
4	65°c 15นาที	2.847	8.105	0.633	0.401	-2.741	7.513	3.946	1.386
	70°c 15นาที	1.313	1.724	0.94	0.884	-1.882	3.540	5.506	2.347
	75°c 15นาที	1.083	1.173	0.553	0.306	-1.110	1.232	3.355	0.893
	80°c 1นาที	1.614	2.605	0.733	0.537	-1.796	3.224	6.739	0.572
	85°c 1นาที	3.193	10.195	0.923	0.852	-1.521	2.312	6.788	1.029
	90°c 1นาที	2.863	8.197	0.403	0.162	-1.516	2.297	7.737	0.615

5	65°c 15นาที	3.708	13.749	1.097	1.203	-2.369	5.614	0.880	0.615
	70°c 15นาที	1.439	2.071	1.673	2.799	-2.200	4.841	0.555	0.665
	75°c 15นาที	1.083	1.173	1.047	1.096	-2.287	5.229	2.486	0.892
	80°c 1นาที	1.614	2.605	1.107	1.225	-2.122	4.504	4.277	1.065
	85°c 1นาที	3.24	10.498	1.267	1.605	-1.247	1.555	1.921	1.24
	90°c 1นาที	2.863	8.197	0.537	0.288	-1.010	1.020	3.437	1.434
6	65°c 15นาที	3.966	15.729	1.827	3.338	-2.465	6.075	0.625	0.704
	70°c 15นาที	2.135	4.558	2.803	7.857	-3.537	12.507	1.501	0.595
	75°c 15นาที	2.128	4.528	1.477	2.182	-3.592	12.905	5.427	0.595
	80°c 1นาที	2.353	5.537	1.220	1.488	-3.859	14.895	7.133	0.893
	85°c 1นาที	3.444	11.861	1.287	1.656	-5.126	26.275	12.736	1.063
	90°c 1นาที	2.968	8.809	0.680	0.462	-4.171	17.396	9.897	1.368
7	65°c 15นาที	4.115	16.933	2.807	7.879	-6.054	36.646	5.279	2.782
	70°c 15นาที	2.135	4.558	3.400	11.560	-6.706	44.975	8.591	2.605
	75°c 15นาที	2.128	4.528	3.380	11.424	-6.023	36.271	5.948	2.596
	80°c 1นาที	2.353	5.537	1.630	2.657	-6.797	46.197	16.595	1.577
	85°c 1นาที	3.444	11.861	1.303	1.698	-7.337	53.825	23.129	1.854
	90°c 1นาที	3.163	10.005	1.143	1.306	-7.857	61.728	29.219	2.068

การวิเคราะห์ความเข้มสีทั้งหมด

คำนวณความเข้มสีทั้งหมด

Total Color Density (O.D.units) = $[(O.D._{420} + O.D._{520}) - 2 (O.D._{700})]$

การวิเคราะห์ปริมาณสีพอลิเมอริก

คำนวณปริมาณสีพอลิเมอริก

Polymeric Color (O.D. units) = $[(O.D._{420} + O.D._{520}) - 2 (O.D._{700})]$

ตารางภาคผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความเข้มสีทั้งหมด

ระยะเวลา (สัปดาห์)	อุณหภูมิและเวลา	$O.D._{420}$	$O.D._{520}$	$O.D._{700}$	$2\ (O.D._{700})$	$O.D._{420} + O.D._{520}$	TCD (O.D.units) = $[(O.D._{420} + O.D._{520}) - 2\ (O.D._{700})]$
0	65°c 15นาที	0.574	0.645	0.19	0.38	1.219	0.839
	70°c 15นาที	0.767	0.646	0.198	0.396	1.413	1.151
	75°c 15นาที	0.537	0.582	0.198	0.396	1.119	1.091
	80°c 1นาที	0.558	0.6	0.205	0.41	1.158	1.063
	85°c 1นาที	0.544	0.632	0.187	0.374	1.176	1.021
	90°c 1นาที	0.558	0.672	0.203	0.406	1.23	1.183
1	65°c 15นาที	0.535	0.643	0.191	0.382	1.178	1.611
	70°c 15นาที	0.563	0.646	0.196	0.392	1.209	1.045
	75°c 15นาที	0.572	0.581	0.199	0.398	1.153	1.059
	80°c 1นาที	0.588	0.599	0.204	0.408	1.187	1.03
	85°c 1นาที	0.583	0.632	0.188	0.376	1.215	1.014
	90°c 1นาที	0.572	0.672	0.203	0.406	1.244	1.028

2	65°c 15นาที	0.623	0.8	0.202	0.404	1.423	1.019
	70°c 15นาที	0.716	0.903	0.234	0.468	1.619	1.017
	75°c 15นาที	0.679	0.858	0.223	0.446	1.537	0.938
	80°c 1นาที	0.661	0.858	0.228	0.456	1.519	0.855
	85°c 1นาที	0.662	0.853	0.247	0.494	1.515	0.922
	90°c 1นาที	0.708	0.903	0.214	0.428	1.611	0.872
3	65°c 15นาที	0.589	0.675	0.217	0.434	1.264	1.014
	70°c 15นาที	0.62	0.722	0.224	0.448	1.342	0.894
	75°c 15นาที	0.614	0.731	0.226	0.452	1.345	0.893
	80°c 1นาที	0.608	0.695	0.224	0.448	1.303	0.841
	85°c 1นาที	0.612	0.744	0.217	0.434	1.356	0.864
	90°c 1นาที	0.621	0.673	0.218	0.436	1.294	0.858
4	65°c 15นาที	0.612	0.753	0.235	0.47	1.365	0.895
	70°c 15นาที	0.537	0.67	0.225	0.45	1.207	0.817
	75°c 15นาที	0.662	0.86	0.292	0.584	1.522	0.755
	80°c 1นาที	0.567	0.74	0.233	0.466	1.307	0.779
	85°c 1นาที	0.586	0.762	0.242	0.484	1.348	0.839
	90°c 1นาที	0.573	0.753	0.227	0.454	1.326	0.838

5	65°c 15นาที	0.637	0.783	0.203	0.406	1.42	0.830
	70°c 15นาที	0.663	0.802	0.21	0.42	1.465	0.757
	75°c 15นาที	0.657	0.82	0.209	0.418	1.477	0.723
	80°c 1นาที	0.631	0.789	0.195	0.39	1.42	0.748
	85°c 1นาที	0.635	0.789	0.205	0.41	1.424	0.802
	90°c 1นาที	0.642	0.796	0.205	0.41	1.438	0.824
6	65°c 15นาที	1.482	0.523	0.197	0.394	2.005	0.796
	70°c 15นาที	0.471	0.514	0.193	0.386	0.985	0.601
	75°c 15นาที	0.518	0.561	0.21	0.42	1.079	0.659
	80°c 1นาที	0.471	0.536	0.203	0.406	1.007	0.678
	85°c 1นาที	0.474	0.543	0.199	0.398	1.017	0.662
	90°c 1นาที	0.505	0.518	0.196	0.392	1.023	0.701
7	65°c 15นาที	0.464	0.533	0.173	0.346	0.997	0.651
	70°c 15นาที	0.422	0.503	0.162	0.324	0.925	0.599
	75°c 15นาที	0.454	0.565	0.182	0.364	1.019	0.655
	80°c 1นาที	0.443	0.563	0.164	0.328	1.006	0.601
	85°c 1นาที	0.449	0.555	0.171	0.342	1.004	0.619
	90°c 1นาที	0.505	0.574	0.189	0.378	1.079	0.631

ตารางภาคผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ปริมาณสีพอลิเมอริก

ระยะเวลา (สัปดาห์)	อุณหภูมิและเวลา	$O.D._{420}$	$O.D._{520}$	$O.D._{700}$	$2\ (O.D._{700})$	$O.D._{420} + O.D._{520}$	PC (O.D.units) = $[(O.D._{420} + O.D._{520}) - 2\ (O.D._{700})]$
0	65°c 15นาที	1.095	0.758	0.451	0.902	1.853	0.853
	70°c 15นาที	1.02	0.714	0.419	0.838	1.734	0.893
	75°c 15นาที	0.989	0.692	0.414	0.828	1.681	0.853
	80°c 1นาที	0.976	0.698	0.42	0.84	1.674	0.834
	85°c 1นาที	0.947	0.672	0.399	0.798	1.619	0.056
	90°c 1นาที	0.978	0.679	0.401	0.802	1.657	0.855
1	65°c 15นาที	1.149	0.782	0.472	0.944	1.931	0.895
	70°c 15นาที	1.099	0.744	0.441	0.882	1.843	0.896
	75°c 15นาที	1.13	0.772	0.461	0.922	1.902	0.853
	80°c 1นาที	1.098	0.752	0.453	0.906	1.85	0.834
	85°c 1นาที	1.133	0.768	0.466	0.932	1.901	0.821
	90°c 1นาที	1.18	0.814	0.483	0.966	1.994	0.855

2	65˚c 15นาที	1.086	0.748	0.432	0.864	1.834	0.943
	70˚c 15นาที	1.124	0.761	0.446	0.892	1.885	0.896
	75˚c 15นาที	1.095	0.742	0.446	0.892	1.837	0.88
	80˚c 1นาที	1.142	0.785	0.472	0.944	1.927	0.873
	85˚c 1นาที	1.14	0.777	0.471	0.942	1.917	0.821
	90˚c 1นาที	1.1	0.756	0.456	0.912	1.856	0.873
3	65˚c 15นาที	0.982	0.685	0.407	0.814	1.667	0.951
	70˚c 15นาที	1.012	0.703	0.411	0.822	1.715	0.911
	75˚c 15นาที	1.018	0.712	0.425	0.85	1.73	0.912
	80˚c 1นาที	1.036	0.695	0.401	0.802	1.731	0.929
.	85˚c 1นาที	1.061	0.732	0.431	0.862	1.793	0.895
	90˚c 1นาที	1.03	0.697	0.413	0.826	1.727	0.901
4	65˚c 15นาที	1.227	0.878	0.526	1.052	2.105	0.951
	70˚c 15นาที	1.248	0.88	0.522	1.044	2.128	0.993
	75˚c 15นาที	1.407	1.047	0.634	1.268	2.454	0.945
	80˚c 1นาที	1.225	0.898	0.547	1.094	2.123	0.948
	85˚c 1นาที	1.25	0.906	0.562	1.124	2.156	0.931
	90˚c 1นาที	1.167	0.83	0.496	0.992	1.997	0.944

5	65˚c 15นาที	1.124	0.781	0.462	0.924	1.905	0.97
	70˚c 15นาที	1.152	0.817	0.475	0.95	1.969	1.014
	75˚c 15นาที	1.125	0.809	0.471	0.942	1.934	0.992
	80˚c 1นาที	1.099	0.773	0.462	0.924	1.872	0.978
	85˚c 1นาที	1.145	0.78	0.481	0.962	1.925	0.963
	90˚c 1นาที	1.151	0.801	0.473	0.946	1.952	0.949
6	65˚c 15นาที	1.12	0.771	0.474	0.948	1.891	0.981
	70˚c 15นาที	1.16	0.804	0.475	0.95	1.964	1.019
	75˚c 15นาที	1.157	0.798	0.475	0.95	1.955	1.005
	80˚c 1นาที	1.132	0.778	0.466	0.932	1.91	0.983
	85˚c 1นาที	1.111	0.781	0.974	1.948	1.892	0.975
	90˚c 1นาที	1.138	0.785	0.487	0.974	1.923	1.005
7	65˚c 15นาที	1.019	0.702	0.413	0.826	1.721	1.053
	70˚c 15นาที	1.006	0.713	0.404	0.808	1.719	1.084
	75˚c 15นาที	1.029	0.717	0.417	0.834	1.746	1.186
	80˚c 1นาที	0.975	0.694	0.398	0.796	1.669	1.029
	85˚c 1นาที	1.008	0.695	0.404	0.808	1.703	1.032
	90˚c 1นาที	1.002	0.697	0.413	0.826	1.699	1.006