ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาผลของกระบวนการและการใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

(A Study on Effect on Processes and Chimicals to

Inhibit Browning Reaction in Candied Pineapple Prouction)

โดย

นางสาวจุฑารัตน์ ปราบอริพ่าย

นางสาวเยาวมาลย์ เจนจิตรานันท์

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

( )

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(ผศ.ดร. วรางคณา ครรชิต)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ..... **เดือน**..... **พ.ศ.** .....

ACC. NO.....
Date Received 23 พ.ค. 2538
Call No.....

14610
- 9 มิ.ย. 2541

จพ.
ว631ก
2534

14610
ห้องสมุด
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ห้องสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของกระบวนการและการใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

A Study on Effect of Processes and Chemicals to Inhibit Browning Reaction in Candied Pineapple Production

T098370

นางสาวจุฑารัตน์ ปราบอริพ่าย
นางสาวเยาวมาลย์ เจนจิตรานันท์

ป.ฟ.
ฉ631ก
เลขหมู่ 2538
เลขทะเบียน 93370
วัน,เดือน,ปี 11 Jun 2539

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2538

จุฑารัตน์ ปราบอริพ่าย และ เยาวมาลย์ เจนจิตรานันท์. 2538. : การศึกษาผลของกระบวนการและการใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง (A Study on Effect of Processes and Chemicals to Inhibit Browning Reaction in Candied Pineapple Production). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต.

ในอุตสาหกรรมการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมักเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลนี้จะมีทั้งชนิดที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาทดลองหากระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ที่มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลน้อยที่สุด รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเคมีที่เหมาะสมในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว จากการทดลองเปรียบเทียบผลของกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration ในอัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 8:2, 7:3, 6:4 และ 1:1 โดยวิเคราะห์ผลทางเคมีและทางประสาทสัมผัส พบว่า กระบวนการ Osmotic dehydration โดยใช้อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 7:3 ให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ในแง่ของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระดับต่ำและผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า โดยการแช่สับปะรดในน้ำเชื่อม 30 °Brix 1 คืน, น้ำเชื่อม 47 °Brix 1 คืน และน้ำเชื่อม 60 °Brix อีก 1 คืน ก็ให้คุณภาพที่ดีกว่าอีกด้วย เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ และ Ascorbic acid เป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ในการผลิตแบบ Osmotic dehydration ที่ใช้อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล เท่ากับ 7:3 โดยการใช้ ascorbic acid 0.5% และ 1%, $Na_2S_2O_5$ 200 ppm และ 400 ppm, และ ascorbic acid 0.5% กับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm พบว่า การใช้ ascorbic acid 0.5% กับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm ให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด โดยมีระดับการเกิดสีน้ำตาลต่ำและได้รับการยอมรับจากผู้ชิมสูง

จุฑารัตน์ ปราบอริพ่าย — เยาวมาลย์ เจนจิตรานันท์ — 27/3/38

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัน เดือน ปี

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษนี้ ซึ่งท่านได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ขอบคุณพี่ ๆ ที่ประจำห้องปฏิบัติการ ในการเอื้ออำนวยให้ความสะดวกต่างๆ ตลอดจนขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนปัญหาพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฑารัตน์ ปราบอริพ่าย
เยาวมาลย์ เจนจิตรานันท์

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบาญตาราง	ฉ
สารบาญภาพ	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
2. วารสารปริทัศน์	3
3 การทดลอง	26
3.1 การทดลอง	26
3.2 วัตถุดิบและสารเคมี	27
3.3 วิธีการทดลอง	29
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	40
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	74
ประวัติผู้เขียน	119

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณ ascorbic acid และการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากแหล่งต่าง ๆ	14
2.2	สภาพอากาศระหว่างการเจริญเติบโตของสับปะรดใน จ. ระยอง ประจวบคีรีขันธ์ และสุพรรณบุรี	14
4.1	ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสับปะรดสด	40
4.2	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดหลังการตัดแต่ง	41
4.3	ปริมาณ SO_2 หลังการแช่ใน $CaCl_2$ 1% และ $Na_2S_2O_5$ 500 ppm (ก่อนการลวก) และปริมาณ SO_2 หลังการลวก	43
4.4	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดแช่อิ่ม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของสับปะรดแช่อิ่ม	44
4.5	ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่ม	45
4.6	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง	46
4.7	ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง	46
4.8	ปริมาณ SO_2 และปริมาณความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง	47
4.9	ผลคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง	48
4.10	ค่าแรงกดทะลุของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง	49
4.11	ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสับปะรดสด	50
4.12	ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดหลังการตัดแต่ง	51
4.13	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดแช่อิ่ม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรดด่างของน้ำเชื่อม	52

4.14 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่ม 53
4.15 ปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่หลังการแช่อิ่ม 53
4.16 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 54
4.17 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 55
4.18 ปริมาณ SO_2 และปริมาณความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 56
4.19 ผลคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 57
4.20 ค่าแรงกดทะลุของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งจากกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration และกระบวนการแช่อิ่มแบบซ้ำ 58
4.21 ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสับปะรดสด 59
4.22 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดหลังการตัดแต่ง 60
4.23 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดแช่อิ่ม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรดด่างของน้ำเชื่อม 61
4.24 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่ม 62
4.25 ปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่หลังการแช่อิ่ม 63
4.26 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 64
4.27 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 65
4.28 ปริมาณ SO_2 และปริมาณความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 66
4.29 ผลคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 67
4.30 ค่าแรงกดทะลุของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 68

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และไฮดรอกซิเลชั่นของ monophenol และ o-diphenol โดยเอนไซม์ PPO	6
2.2	Proposed mechanism ของปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่น และออกซิเดชั่นของ phenol โดยเอนไซม์ tyrosinase จาก Neurospora	7
2.3	ผังแสดงปฏิกิริยา secondary nonenzymatic จาก o-quinone	8
2.4	โครงสร้างของ phloroglucinol, (+)-catechin และ (-)-epicatechin	10
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ascorbic acid และการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต	16
3.1	แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration ด้วยอัตราส่วนสับปะรดต่อน้ำตาลต่าง ๆ	32
3.2	แผนภาพเปรียบเทียบกระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งแบบ Osmotic dehydration และกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า	37
3.3	แผนภาพแสดงการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิคในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล	39
4.1	กราฟแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO	42

บทที่ 1
บทนำ

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นปฏิกิริยาที่พบมากในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้มีการศึกษาวิจัยวิธีการต่าง ๆ ที่จะป้องกันและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลดังกล่าว

สับปะรดเป็นผลไม้พื้นเมืองที่มีมากในประเทศไทย และผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันมาก ดังนั้นในการทดลองจึงใช้กระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งเป็นตัวแทนในการศึกษาผลของการยับยั้งปฏิกิริยาดังกล่าว

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลนั้น มีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยมีเอนไซม์ Polyphenoloxidase(PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งก็คือ ปฏิกิริยา Maillard นั่นเอง

การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลนั้น มีอยู่หลายวิธี กัญญารัตน์และสุมณฑิพย์ (2537) ได้ศึกษาพบว่า การลวกสับปะรดที่ 100 °C เป็นเวลา 10 นาที จะเป็นการยับยั้งเอนไซม์ PPO ทำให้ระดับการเกิดสีน้ำตาลลดต่ำลง และวิธีหนึ่งที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารก็คือ การใช้สารเคมีเป็นตัวยับยั้ง สารเคมีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมก็คือสารประกอบที่แตกตัวให้ SO_2 แต่ SO_2 นั้น เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เมื่อได้รับในปริมาณมาก การเลือกใช้สารเคมีชนิดอื่นมาทดแทนหรือใช้ร่วมกับ SO_2 เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร สารเคมีที่นิยมใช้ก็คือ Ascorbic acid

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของสับปะรดต่อน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration กับ กระบวนการแช่อิ่มแบบช้า
3. เพื่อหาปริมาณการใช้ $Na_2S_2O_5$ และกรด ascorbic ที่น้อยที่สุด ที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากที่สุดและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีที่สุด

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

สับปะรด (Pineapple) จัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Ananas commosus (L.) Merr. และจัดอยู่ในตระกูล Bromeliaceae จำพวกไม้ดิน (Terrestrial) คือ มีระบบรากอาหารอยู่ในดิน และยังมีลักษณะบางประการของไม้อากาศ คือ สามารถเก็บน้ำเอาไว้ตามซอกใบได้เล็กน้อย และมีเซลพิเศษสำหรับเก็บน้ำเอาไว้ในใบ ทำให้ทนทานต่อช่วงแห้งแล้งได้ดี ขนาดของต้นแตกต่างกันออกไปจาก 1 นิ้ว จนถึง 35 ฟุต หรือมากกว่านี้ การเติบโตอาจเป็นต้นเดี่ยว เป็นพุ่ม เป็นกอ หรือปกคลุมแผ่ปริมาณครอบคลุมพื้นที่หลาย ๆ ไร่ก็มี บางครั้งอาจพบพืชตระกูลนี้บนโขดหิน บนหน้าผาหิน บนคาคบไม้ ในป่าทึบมืดและชื้นหรืออาจพบตามแนวหาดทรายชายทะเล บางพวกอาจพบเป็นดงเตี้ยสุดลูกหูลูกตา ตามพื้นที่ราบสูงที่เยือกเย็นและแห้งแล้ง บางชนิดพบว่าเกาะอยู่ตามลำต้นตะบองเพชรในทะเลทราย (จารุพันธ์, 2536)

องค์ประกอบของสับปะรด (Duckworth, 1966)

องค์ประกอบของสับปะรดในส่วนที่กินได้ทั้งหมด 100 กรัม มีดังนี้

น้ำ	77-91	กรัม
น้ำตาล	9.7-12.1	กรัม
เถ้า	0.2-0.42	กรัม
ไขมัน	0-0.31	กรัม
เยื่อใย	0.27-1.2	กรัม
โปรตีน	0.36-0.5	กรัม
พลังงาน	46-57	แคลอรี่
Ascorbic acid	15-165	มิลลิกรัม
Carotene	0.01-0.12	มิลลิกรัม
Thiamine	0.08-0.12	มิลลิกรัม
Riboflavin	0.02-0.06	มิลลิกรัม

Niacin	0.1-0.59	มิลลิกรัม
Folic acid	3-8	มิลลิกรัม
Calcium	12-32	มิลลิกรัม
Iron	0.3-0.6	มิลลิกรัม
Total acidity	3.8-7.0	มิลลิอิควิเวอเรนท์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction)

ผักและผลไม้สดบางชนิดเช่น สับปะรด มะม่วง แอปเปิ้ล มันฝรั่ง และ กล้วย เป็นต้น เมื่อถูกหั่นหรือตัด ผิวหน้าจะสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น เนื่องมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยเฉพาะ Phenolase ซึ่งมีคู่ทั่วไปในผักและผลไม้สดทำให้เกิดการออกซิเดชั่น เปลี่ยน phenolic compound เป็นสาร quinones ซึ่งมีสี ในกรณีที่เอนไซม์เสื่อมสภาพไปโดยความร้อนหรือสารเคมี จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีโดยไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ระหว่างน้ำตาลกับโปรตีนหรือกรดอะมิโน เป็นผลให้เกิดสาร melanoidins ซึ่งมีสี จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคือ มีสีน้ำตาลหรือสีคล้ำเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ผลของปฏิกิริยายังทำให้เกิดสารที่มีรสขมและยังสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิดไป รวมทั้งทำให้โปรตีนย่อยสลายได้ยากขึ้น ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง นอกจากนี้ยังเอื้ออำนวยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีขึ้น เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียเร็วกว่าปกติ (อุดมเกียรติ, 2531)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) จะประกอบด้วยปฏิกิริยาพื้นฐาน 4 ปฏิกิริยาด้วยกันคือ

1. Maillard Reaction
2. Caramellization Reaction
3. Ascorbic acid Reaction
4. Phenolase Browning

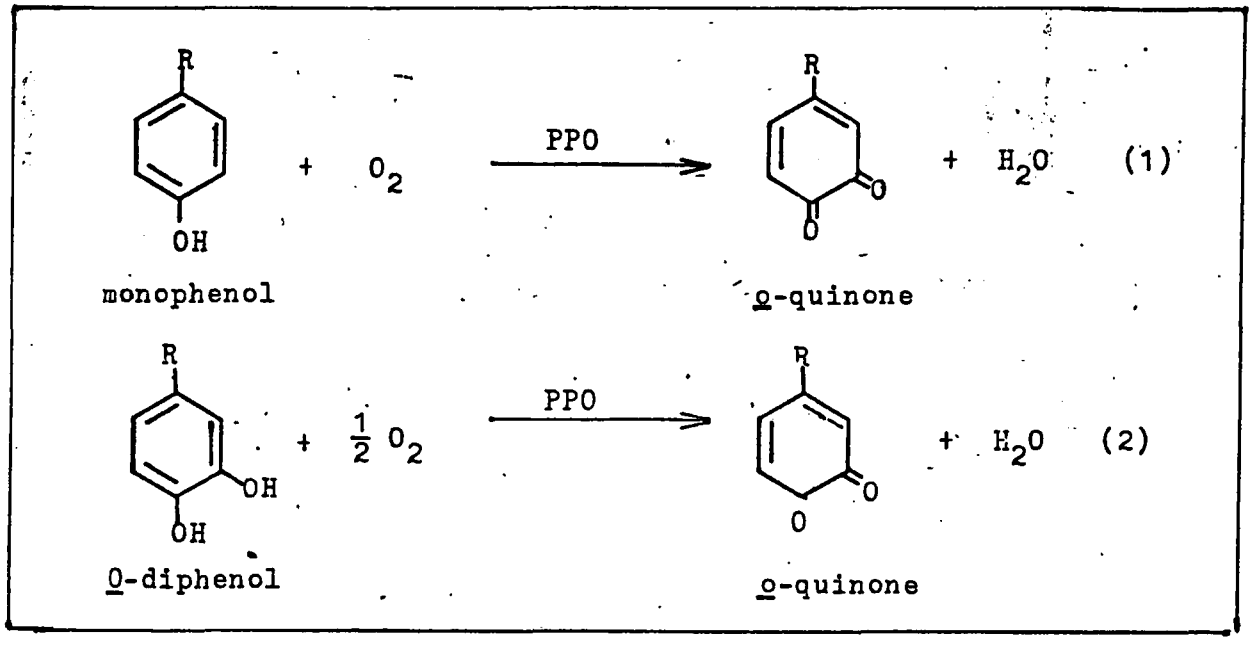
Polyphenoloxidase Enzyme (PPO Enzyme)

ชื่อวิชาการของเอนไซม์ PPO คือ Monophenol ; Dihydroxyphenyl-alanine: Oxygen Oxidoreductase (EC 1.14.18.1) ตามระบบการเรียกชื่อนี้ จะรวมเอาเอนไซม์ PPO พวก laccase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถออกซิไดซ์ phenolic compound พวก p-diphenol ด้วย (วรรณา, 2528)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิด Enzymatic Browning

ในเซลของผักและผลไม้ ปกติแล้วเอนไซม์ PPO จะแยกกันจาก phenolic compound เช่น tyrosine, caffeic acid , chlorogenic acid, (+)-catechin, (-)-epicatechin และ protocatechuic acid (Thomas,1987) ต่อเมื่อ ผักและผลไม้ถูกปอก หั่น ตัด หรือทำให้ช้ำเอนไซม์ PPO ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อจะออกซิไดซ์ phenolic compound ทั้งประเภท monophenol และ o-diphenol (รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยา (1) และ (2)) เป็นผลให้เกิดสารที่มีสีต่าง ๆ ตั้งแต่ ม่วง ชมพู จนถึงสีน้ำตาล และดำในบริเวณเนื้อเยื่อที่ถูกตัด จึงเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าเอนไซเมติค-บราวนิ่ง (Enzymatic browning) (วรรณา, 2528)

เอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นนี้ได้แก่ phenolase, polyphenol oxidase, tyrosinase และ catecholase ในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะต้องมีองค์ประกอบ 4 อย่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ ออกซิเจน เอนไซม์ ทองแดง (copper) และสารตั้งต้น (substrate) การทำลายองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งใน 4 องค์ประกอบเหล่านี้ จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในเชิงปฏิบัติงานแล้วไม่ใช่สิ่งที่ป้องกันได้ง่ายเนื่องจากหลาย ๆ ปัจจัยด้วยกัน



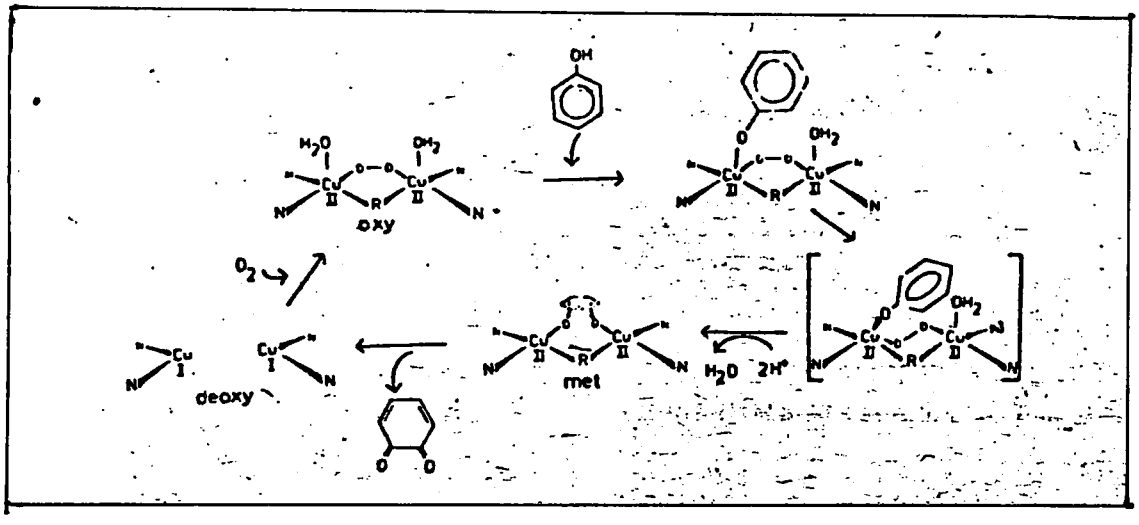
รูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และไฮดรอกซิเลชั่น ของ monophenol และ o-diphenol โดยเอนไซม์ PPO

ที่มา : วรรณา (2528)

เอนไซม์ PPO จะเป็นตัวเร่งของปฏิกิริยาทั้งสอง โดยทำหน้าที่ เป็นทั้ง hydroxylase ของ monophenol และ oxidase ของ o-diphenol ปฏิกิริยาทั้งสองจะต้องมีออกซิเจนอยู่ด้วย และ การทำงานของเอนไซม์จำเป็นจะต้องมีอิออนของทองแดงเสมอ

จากการค้นพบจำนวนอะตอมของทองแดง 2 อะตอม ที่ active site ของ tyrosine ที่ได้จากเห็ดและพืชบางชนิด ตัวแบบ (model) แสดงการทำงานของ tyrosinase (รูปที่ 2.2) ที่ active site จึงได้ถูกเสนอเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1981 ตัวแบบที่เสนอนี้ แสดงให้เห็นความสำคัญของทองแดงทั้งสองอะตอมต่อปฏิกิริยา ทั้งไฮดรอกซิเดชั่นของ monophenol และออกซิเดชั่นของ o-diphenol ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังได้พิสูจน์ว่าปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่นของเอนไซม์จะเกิดเฉพาะที่ตำแหน่ง ortho (o-) เท่านั้น(วรรณา, 2528)

Phenolase เป็นเอนไซม์ที่มีทองแดง (copper) เป็น prosthetic group (non-protein) ซึ่งทองแดงที่เป็น prosthetic group นี้ จะต้องมีในปฏิกิริยาจึงจะทำให้ปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์ดำเนินไปได้



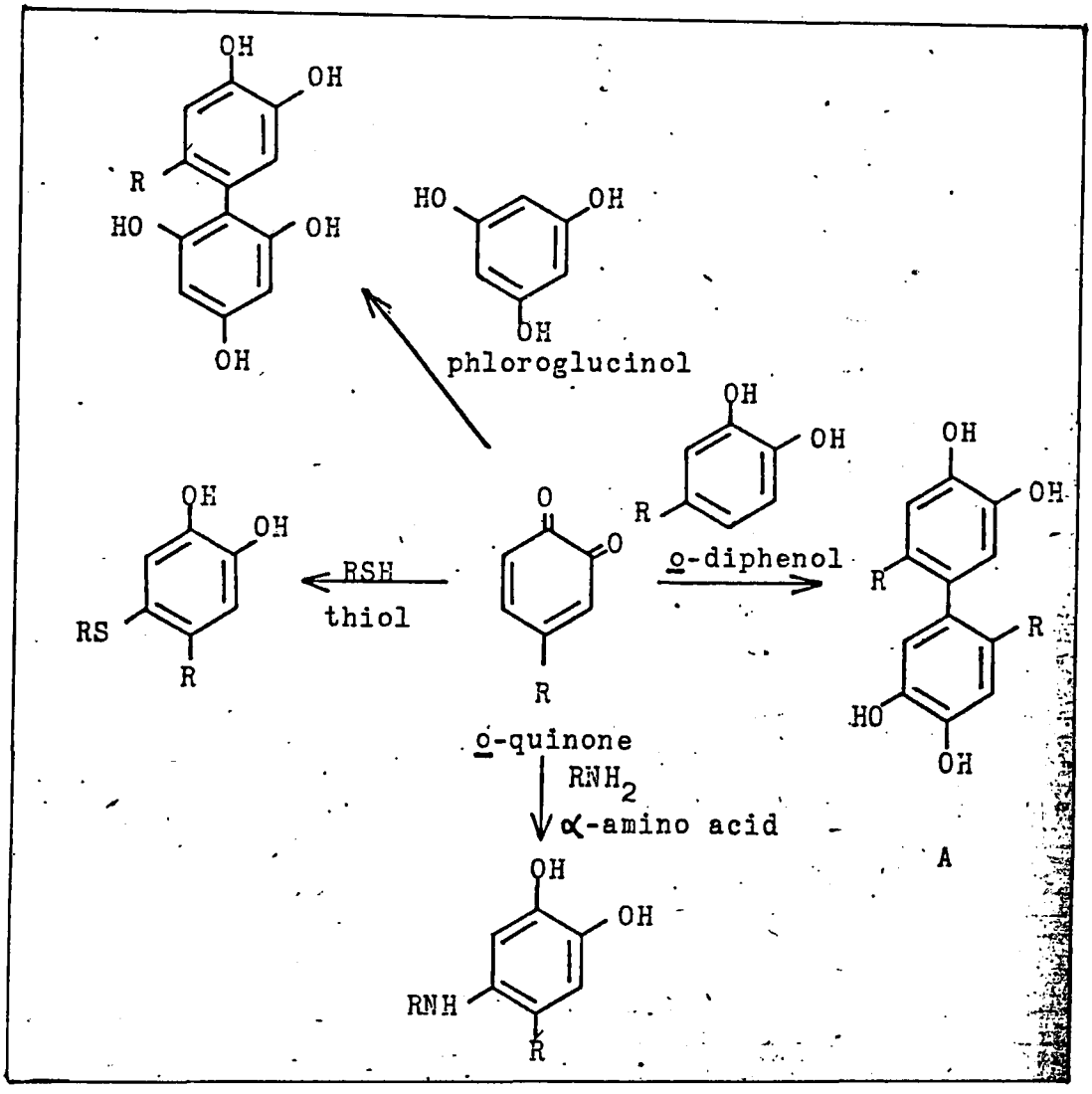
รูปที่ 2.2 Proposed mechanism ของปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่นและออกซิเดชั่นของ phenol โดยเอนไซม์ tyrosinase จาก Neurospora

ที่มา : วรรณา (2528)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิด Non-enzymatic Browning

เมื่อ phenolic compound ในผักและผลไม้ถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน โดยมีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่ง จะได้ o-quinone ของ phenolic compound นั้นเกิดขึ้น o-quinone เป็นสารที่ไวต่อปฏิกิริยามาก เมื่อเกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยา Addition รวมตัวกับ o-diphenol อีก ทำให้ได้ o-diphenolic dimer ขึ้น (รูปที่ 2.3, A) สาร dimer ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นประเภท nonenzymatic oxidation และปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นแบบนี้ จะทำให้ได้สารที่มี

โมเลกุลใหญ่ขึ้น จาก dimer เป็น trimer, tetramer เป็นต้น และมี double bond conjugation เพิ่มขึ้นในโมเลกุล ทำให้เกิดสีขึ้น



รูปที่ 2.3 ผังแสดงปฏิกิริยา secondary nonenzymatic จาก o-quinone

ที่มา : วรรณา (2528)

สาร o-quinone ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าว เป็นตัวการสำคัญในการทำให้เกิดพวกสารโมเลกุลใหญ่ที่มีสีเพราะ

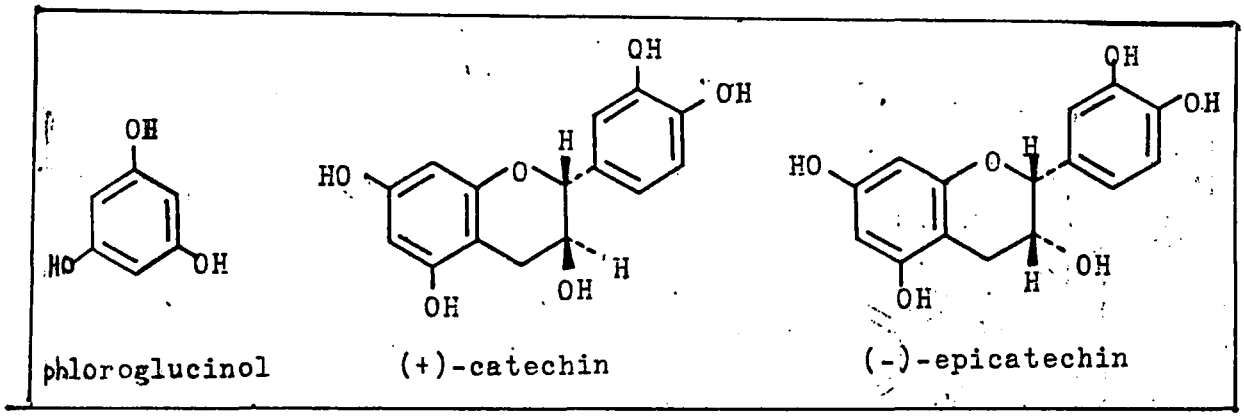
1. o-quinone สามารถทำปฏิกิริยาโพลีเม่อไรเซชั่น (polymerization) กับสาร o-diphenol อีก เป็นผลทำให้เกิดสารโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น

2. o-quinone สามารถทำปฏิกิริยากับพวกกรดอะมิโนต่าง ๆ และโปรตีน ทำให้เกิดสารโมเลกุลใหม่ที่มีสี

การเกิดของปฏิกิริยาพวก secondary nonenzymatic reactions ที่สืบเนื่องมาจาก o-quinone สามารถจะอธิบายแบบง่าย ๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3

กรดอะมิโนและสารโปรตีนก็สามารถทำปฏิกิริยา Addition กับ o-quinone ที่เกิดขึ้นได้ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นระหว่าง amino group ของกรดอะมิโน กับ o-quinone (รูปที่ 2.3) สำหรับกรดอะมิโน lysine และ cysteine หรือโปรตีนที่มีกรดอะมิโน 2 ตัวนี้ ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีที่ $-NH_2$ และ -SH group ของกรดอะมิโน ตามลำดับ ผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดสีได้ต่าง ๆ เช่น แดง ม่วงแดง น้ำตาลแดงถึงน้ำตาลดำ ในผักและผลไม้ ทั้งนี้พบว่าสีที่เกิดขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนและ phenolic compound ด้วย

Phloroglucinol (1,3,5,-trihydroxybenzene) (รูปที่ 2.4) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น nucleophile ก็สามารถทำปฏิกิริยา addition กับ o-quinone เช่นเดียวกับกรดอะมิโนได้ ในผักและผลไม้ ปกติจะไม่มี free phloroglucinol แต่จะมี phloroglucinol ring เป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งในสารพวก flavonoids เช่น (+)-catechin และ (-)-epicatechin เป็นต้น เพราะฉะนั้นการสร้าง dimer จึงสามารถเกิดขึ้นได้ในทำนองเดียวกัน และ dimer ที่เกิดก็จะถูกออกซิไดซ์ได้ต่อไปอีก



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ phloroglucinol, (+)-catechin และ (-)-epicatechin

ที่มา : วรรณา (2528)

จากความไวต่อปฏิกิริยาของสาร o-quinone ที่เกิดขึ้น จึงทำให้เกิดการ regenerate สารพวก phenolic compound ขึ้นใหม่ ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถถูกออกซิไดซ์ต่อไปได้อีก เมื่อโมเลกุลใหญ่ขึ้นถูกออกซิไดซ์มากขึ้น ประกอบกับการทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนและโปรตีนในผักและผลไม้ได้ จึงทำให้ยากต่อการศึกษาและการหาโครงสร้างสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น (วรรณา, 2528)

ผลของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลต่อผลิตภัณฑ์

การเกิดสีน้ำตาลขึ้นในผักและผลไม้จะมีผลเสียต่ออุตสาหกรรมบางชนิด เช่น ผลไม้กระป๋อง ผัก-ผลไม้แช่แข็ง น้ำผลไม้ เป็นต้น เพราะทำให้ผักและผลไม้สดเกิดสีน้ำตาลขึ้นในระหว่างการขนส่ง และการแปรรูป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง และยังสามารถลดปริมาณของวิตามินซีที่มีอยู่ในผักและผลไม้ด้วย

ส่วนอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น ชา ลูกพรุน องุ่นแห้ง และโกโก้ การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นขั้นตอนที่ต้องการและสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น การผลิตใบชาดำ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดในช่วงการหมักของใบชาที่ได้ผ่านการอบแห้ง

(withering) และรีด (rolling) ใบมาแล้ว การรีดจะช่วยเร่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์ และphenolic compound ให้เร็วขึ้นในระหว่างการหมัก เอนไซม์จะออกซิไดซ์ phenolic compound ในใบชาที่พบมากได้แก่พวก catechins เช่น (+)-catechin, (-)-catechin, (-)-epicatechin gallate และ (-)-epigallocatechin gallate (ปฏิกิริยา 1 และ 2) จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและโพลีเมอไรเซชั่น เป็นผลทำให้เกิดสารที่มีสี กลิ่น และรสเฉพาะของชาดำ

$$\text{catechin} + O_2 \text{ ----------> } \text{o-quinone} + H_2O \quad (1)$$

$$\text{o-quinone} \text{ ----------> } \text{colored products} \quad (2)$$

อุตสาหกรรมองุ่นแห้ง (raisin) โดยปกติจะใช้องุ่นพันธุ์ที่ไม่มีเมล็ด ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดเร็วในระหว่างการตากแห้ง (drying) โดยเฉพาะเมื่อองุ่นสูญเสียน้ำไปประมาณ 50 % การสูญเสียน้ำจากเซลมีผลทำให้ผนังเซลของอองุ่นเสื่อมสภาพ ทำให้เอนไซม์และ phenolic compound สามารถแพร่มาทำปฏิกิริยากันมากขึ้น เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ง่ายขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอของสี และรสเฉพาะขององุ่นแห้งด้วย (วรรณา, 2528)

วิธีการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

1. <u>การคัดเลือกพันธุ์</u>

การศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีภายในผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 °C พบว่าปริมาณ ascorbic acid มีความสัมพันธ์ค่อนข้างชัดเจนกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดทั้งสองพันธุ์นี้ ซึ่งถ้าผลสับปะรดมีปริมาณ ascorbic acid สูง (มากกว่า 8 มก./100 มล. น้ำคั้น) จะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อย แต่ถ้ามีปริมาณ ascorbic acid ต่ำ (4-6 มก./100มล. น้ำคั้น) จะมีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มาก ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ สารฟีนอล อัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase และเอนไซม์

polyphenol oxidase ไม่พบความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล การคาดคะเนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรด โดยการวิเคราะห์ปริมาณ ascorbic acid ภายในผลก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าปริมาณ ascorbic acid สามารถใช้คาดคะเนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและระดับความรุนแรงของอาการได้ดี โดยเฉพาะในผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ส่วนผลสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตส่วนมากแล้วมีปริมาณ ascorbic acid ต่ำ และเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างรุนแรงทุกผล (จักรพงษ์และจริงแท้, 2536) แต่อย่างไรก็ตาม การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากเอนไซม์ PPO และสาร phenolic compound ในผักและผลไม้ อาจทำโดยการคัดเลือกพันธุ์ของผลไม้ที่มี phenolic compound ต่ำ เพื่อลดการสูญเสียของวัตถุดิบ (วรรณา, 2528)

การเก็บรักษาผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ตที่อุณหภูมิ 8 และ 12 °C แล้วย้ายออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีอาการไส้สีน้ำตาลเกิดขึ้นและรุนแรงมากขึ้นและมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีภายในผลสับปะรด ได้แก่ ปริมาณ ascorbic acid ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณสารฟีนอล อัตราปฏิกิริยาของเอนไซม์ PAL และ PPO พบว่า ผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณ ascorbic acid สูงกว่าพันธุ์ภูเก็ต เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นและมีปริมาณ ascorbic acid ลดลงในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ สอดคล้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล กล่าวคือ เมื่อปริมาณ ascorbic acid สูงกว่า การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลก็น้อยกว่าด้วย

การทดลองเพื่อคาดคะเนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต โดยการวิเคราะห์ปริมาณ ascorbic acid ภายในผลสับปะรดก่อนการเก็บรักษาพบว่า สามารถนำมาใช้คาดคะเนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลสับปะรดได้ดีพอควร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.84 โดยเฉพาะในผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ถ้ามีปริมาณ ascorbic acid ต่ำในน้ำคั้น (น้อยกว่า 6 มก./100 มล.) มีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มาก แต่ถ้าปริมาณ ascorbic acid สูง (มากกว่า 8.5 มก./100 มล.ขึ้นไป) มีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อย ในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตนั้นส่วนมากแล้วมีปริมาณ ascorbic acid ต่ำ (ประมาณ 4-7 มก./100 มล.) ทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างรุนแรงทุกผล จึงบอกได้ว่าจะเกิดอาการไส้สีน้ำตาลกับสับปะรด

พันธุ์ภูเก็ตอย่างแน่นอน (จักรพงษ์และจริงแท้, 2536)

การทดลองนำเอาผลลับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากแหล่งต่าง ๆ มาวิเคราะห์ปริมาณ ascorbic acid ก่อนการเก็บรักษาแล้วคาดคะเนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล พบว่า ผลสับปะรดจาก จ.ระยอง และประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีปริมาณ ascorbic acid ค่อนข้างต่ำเฉลี่ยประมาณ 6.92 และ 5.22 มก./100 มล. มีการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลค่อนข้างมาก ส่วนผลสับปะรดจากตลาดสี่มุมเมือง รังสิต พบว่ามีปริมาณ ascorbic acid เฉลี่ยประมาณ 7.82 มก./100 มล.(ตารางที่ 2.1) ซึ่งค่อนข้างสูงกว่าผลสับปะรดจากทั้ง 2 แหล่งแรก จึงทำให้มีการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลค่อนข้างน้อย แต่เมื่อนำเอาผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากจ.สุพรรณบุรี มาวิเคราะห์ปริมาณ ascorbic acid ก่อนการเก็บรักษา พบว่า มีปริมาณ ascorbic acid เฉลี่ยสูงกว่าแหล่งอื่น ๆ มาก คือ 12.53 มก./100 มล. (ตารางที่ 2.1) แต่ก็พบว่ามีการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลใกล้เคียงกับสับปะรดจากตลาดสี่มุมเมือง โดยมีผลสับปะรดที่เกิดอาการไส้สีน้ำตาลประมาณร้อยละ 60 เหตุที่สับปะรดจากสุพรรณบุรียังคงมีอาการไส้สีน้ำตาลทั้งๆ ที่มีปริมาณ ascorbic acid สูงมาก เนื่องจาก

1. ผลสับปะรดที่นำมาเก็บรักษาบางส่วนได้ผ่านการลดอุณหภูมิภายในผลโดยวิธี forced-air cooling มาก่อน ซึ่งการลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้เป็นการลดอุณหภูมิภายในผลสับปะรดอย่างรวดเร็ว โดยใช้อากาศเย็น ทำให้อุณหภูมิภายในผลสับปะรดลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลทำให้เกิด chilling injury ได้มากขึ้น (จักรพงษ์และจริงแท้, 2536) ผลสับปะรดจึงแสดงอาการไส้สีน้ำตาลออกมามาก

2. อาจเป็นเพราะว่าสับปะรดที่นำมาจากสุพรรณบุรีนี้ ระหว่างการเจริญเติบโตในแหล่งปลูกมีแสงน้อยและมีฝนมาก (ตารางที่ 2.2) ทำให้มีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าผลสับปะรดจากระยองและประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเจริญเติบโตในช่วงที่มีแสงแดดมากและฝนน้อย

ตารางที่ 2.1 ปริมาณ ascorbic acid และการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากแหล่งต่าง ๆ

Sources	Ascorbic Acid Content (mg/100 ml juice)	IB Incident (Score)
Rayong province	6.92 ±0.99	4.45 ±1.02
Prachuap Khiri Khan province	5.22 ±0.66	4.90 ±1.02
Si Mum Muang wholesale market	7.82 ±0.18	2.00 ±0.16
Suphan Buri province	12.53 ±0.28	2.56 ±0.49

ที่มา : จักรพงษ์และจริงแท้ (2536)

ตารางที่ 2.2 สภาพอากาศระหว่างการเจริญเติบโตของสับปะรดใน จ.ระยอง ประจวบคีรีขันธ์ และสุพรรณบุรี

Source	Mounth of Harvest	Weather Condition of Pineapple Growing Area													
		Average Temperature (°C)			Average Relative Humidity (%)			Average Amount of Cloud (0-10 score)			Sunshine period hr/mo			Pricipitation mm/mo		
Rayong	Mar. 34	27.3	27.9	29.5	76	72	75	3.3	2.6	4.3	305.9	264.6	273.3	0.0	46.7	35.6
Prachuap Khiri Khan	Apr. 34	27.6	29.1	29.3	68	72	75	2.8	2.6	4.7	254.5	268.9	225.2	16.8	3.5	7.5
Suphan Buri	Oct. 34	27.9	28.3	27.5	79	82	84	9.3	8.5	7.1	98.5	131.7	182.2	176.1	146.1	215.4

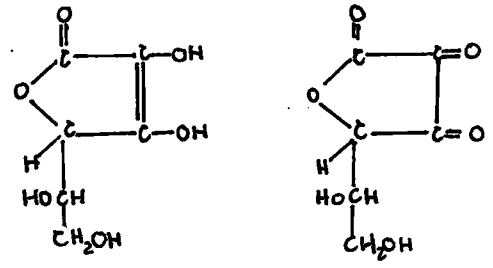
ที่มา : จักรพงษ์และจริงแท้ (2536)

การที่สับปะรดจากสุพรรณบุรีมีปริมาณ ascorbic acid สูง แต่ยังคงเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอยู่นั้น สามารถอธิบายในระดับกลไกได้ว่า ascorbic acid ช่วยยับยั้งการแสดงออกของอาการในขั้นตอนท้าย ๆ ที่จะเกิดสีน้ำตาลขึ้นเท่านั้น ซึ่งขั้นตอนการแสดงออกของอาการนี้เป็น secondary event ของอาการ chilling injury ส่วน primary event หรือการผิดปกติเริ่มต้นที่อุณหภูมิต่ำ กระตุ้นให้เกิดขึ้นนั้น ascorbic acid มิได้มีบทบาทแต่อย่างใด ตามสมมติฐานของการเกิด chilling injury ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันมากที่สุดนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำไป ทำให้คุณสมบัติของ membrane บางอย่างในเซลผิดปกติไปแล้ว จึงก่อให้เกิดอาการต่าง ๆ ตามมา สภาพแวดล้อมในระหว่างการเจริญเติบโตของสับปะรดที่มีแสงแดดน้อย ฝนชุก อาจมีผลทำให้ membrane ต่าง ๆ ของเซลอ่อนแอต่อการเกิด primary event ของ chilling injury ดังนั้นถึงแม้ว่าจะมีปริมาณ ascorbic acid อยู่สูง ก็ไม่สามารถลดการแสดงออกของอาการ secondary event ได้มากพอ (จักรพงษ์และจริงแท้, 2536)

2. <u>การใช้สารเคมีในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล</u>

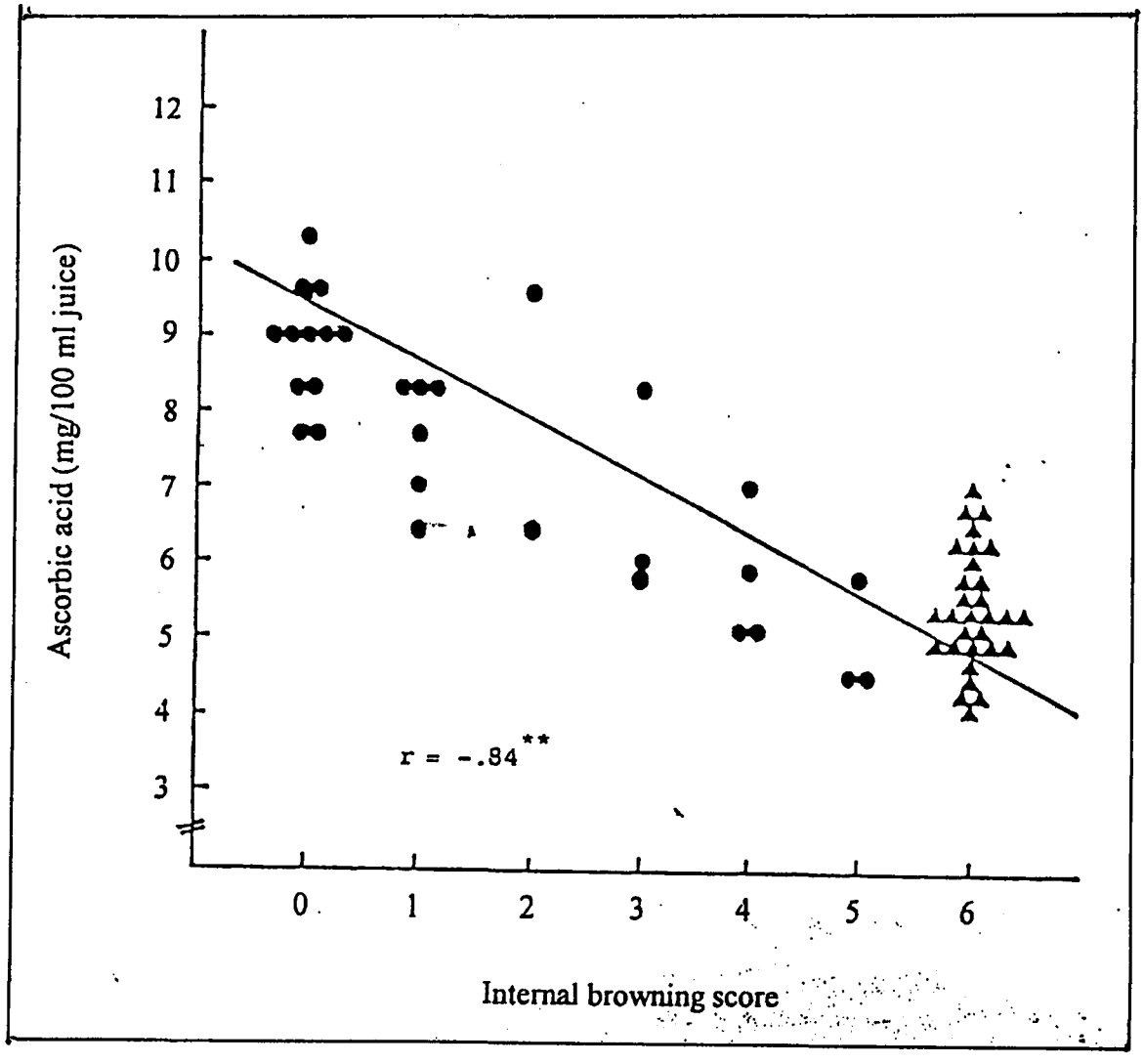
2.1 Ascorbic acid

Ascorbic acid เป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้รวมทั้งยังมีคุณสมบัติในการเป็นกรดและตัวรีดิวซ์อย่างดี ซึ่ง ascorbic acid มีสูตรโครงสร้างดังนี้ (Owen, 1985)



L-ascorbic acid. L-dehydroascorbic acid.

การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผลสับปะรดนั้น พบว่าผลสับปะรดที่มีปริมาณ ascorbic acid มาก จะเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อยกว่าผลสับปะรดที่มีปริมาณ ascorbic acid น้อย เนื่องจาก ascorbic acid เป็น reducing agent ของ quinone ทำให้ quinone ไม่สามารถรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ จึงไม่เกิดอาการไส้สีน้ำตาลขึ้น (จักรพงษ์และจริงแท้, 2536)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ascorbic acid และการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย (●) (r= -0.84) และพันธุ์ภูเก็ต (Δ)

ที่มา : จักรพงษ์และจริงแท้ (2536)

การเติม ascorbic acid เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ เพราะ ascorbic acid เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี ช่วยรีดิวซ์ o-quinone กลับไปเป็น o-diphenol ใหม่ (ปฏิกิริยา 3) เพราะฉะนั้นจึงสามารถที่จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ เมื่อ ascorbic acid ถูกใช้หมดไป ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก็จะเกิดขึ้นได้อีก (วรรณา, 2528)

$$\text{o-quinone} + RH_2 \longrightarrow \text{o-diphenol} + R \qquad (3)$$

2.2 SO_2

2.2.1 การใช้ SO_2 ในการถนอมอาหาร

การใช้ SO_2 และเกลือซัลไฟต์ถนอมอาหารเป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ในสมัยของโรมันได้ใช้ SO_2 ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในภาชนะบรรจุไวน์ โดยใช้ควันที่ได้จากการเผากำมะถัน และในปัจจุบันได้ใช้สารดังกล่าวเจือปนในอาหารอย่างแพร่หลาย เช่น ในผักผลละผลไม้สด ผักและผลไม้ดอง ผลไม้แห้ง ในกุ้งสด และอาหารจากทะเลอื่น ๆ น้ำตาล น้ำผลไม้ เบียร์ ไวน์ เห็ดชนิดต่าง ๆ และในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เป็นต้น วัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ยับยั้งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารอันเนื่องมาจากเอนไซม์ และที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ใช้เป็นวัตถุกันหืน และเป็นสารฟอกสี สำหรับการใช้นั้น ผู้ผลิตนิยมใช้สารซัลไฟต์เจือปนลงไป โดยการนำผักและผลไม้จุ่มลงไปในสารละลายของซัลไฟต์ แล้วทำให้แห้ง หรือโดยการฉีดพ่นสารละลายของซัลไฟต์ลงบนผักและผลไม้โดยตรง (อุดมเกียรติ, 2531)

2.2.2 สารในกลุ่มซัลไฟต์ที่อนุญาตให้ใช้เจือปนในอาหาร

สารในกลุ่มซัลไฟต์ที่อนุญาตให้ใช้เจือปนในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร ได้แก่ โซเดียมและโพแทสเซียมซัลไฟต์ โซเดียมและโพแทสเซียมไบซัลไฟต์ โซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ สารเหล่านี้เมื่ออยู่ในสารละลายของน้ำจะแตกตัวอยู่ในรูปของ

98370

ซัลไฟต์อิสระคือ กรดซัลฟูรัส ไปซัลไฟต์อิออน และซัลไฟต์อิออน ซึ่งกรดซัลฟูรัสและไบซัลไฟต์มีบทบาทในการยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ รา และแบคทีเรีย ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 จะมีประสิทธิภาพสูงสุด และซัลไฟต์อิสระสามารถทำปฏิกิริยากับสารอาหาร เช่น โปรตีน น้ำตาล และวิตะมินบี 1 (thiamine) รวมทั้ง aldehyde และ ketone ได้ซัลไฟต์รวม ซึ่งไม่มีผลต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (อุดมเกียรติ, 2531)

2.2.3 ข้อกำหนดในการใช้สารซัลไฟต์

เนื่องจากมีข่าวเผยแพร่ทางสื่อมวลชนต่างๆ พอสรุปได้ว่ามีการใช้สารซัลไฟต์เจือปนลงในผักและผลไม้สด ดอง และแช่อิ่ม และเป็นสาเหตุทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการความเป็นพิษ นอกจากนี้ในปัจจุบัน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร ไม่มีข้อกำหนดวิธีการใช้ และปริมาณสูงสุดของ SO_2 ในอาหารดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้สำรวจปริมาณ SO_2 ที่เหลือตกค้างอยู่ในอาหาร เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดปริมาณการใช้ต่อไป เพื่อชี้แนะต่อผู้บริโภคในด้านข้อมูลเพื่อคุ้มครองความปลอดภัยในการเลือกบริโภคและหลีกเลี่ยงอาหารชนิดที่มีปริมาณ SO_2 สูง

ในปัจจุบันมีรายงานหลายฉบับที่ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารซัลไฟต์ที่เจือปนในอาหาร กับอาการความเป็นพิษที่เกิดหลังจากบริโภคอาหารที่มีสารซัลไฟต์เจือปนอยู่ และมีหลายรายที่ทราบสาเหตุแน่ชัดว่าเกิดจากการแพ้สารซัลไฟต์ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่เป็นโรคหืด เพื่อป้องกันและคุ้มครองผู้บริโภคที่มีความไวต่อสารดังกล่าว คณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญของ FAO/WHO ทางด้านวัตถุเจือปนอาหาร ได้ห้ามไม่ให้ใช้ Sulfite เป็นสารที่ช่วยในการถนอมอาหาร (preservative) ในผักผลไม้สดในวันที่ 8 สิงหาคม 2529 และต่อมาได้กำหนดค่า ADI (Acceptable Daily Intake)ไว้ที่ระดับ 0.7 มก. SO_2 ต่อน้ำหนักตัว 1 กก. ต่อ 1 วัน ซึ่งผู้ที่มีน้ำหนักตัว 60 กก. ใน 1 วัน สามารถรับ SO_2 ได้ถึง 42 มก. นอกจากนี้ทาง FDA (Food and Drug Administration) ได้ประกาศห้ามใช้สารซัลไฟต์ในผักและผลไม้สด โดยให้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ เดือนสิงหาคม 1986 และอาหารที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่มีปริมาณ SO_2 ตั้งแต่ 10 มก./กก. ขึ้นไป จะต้องแสดงฉลากโดยให้มีผลบังคับใช้ในเดือนมกราคม 1987 เพื่อให้ผู้บริโภคที่มีความไวต่อสารซัลไฟต์ได้ทราบ และหลีกเลี่ยงบริโภคอาหารที่เจือปนสาร

ดังกล่าว (อุดมเกียรติ, 2531 และ Langdon, 1987) แต่อย่างไรก็ตาม สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม(มอก.) 919-2532 ได้กำหนดให้ผลไม้แห้ง มีปริมาณ SO_2 ได้ไม่เกิน 1000 มก./กก.และวิเคราะห์ตาม AOAC 1984

2.2.4 บทบาทของการใช้สารซัลไฟต์ในอาหาร

สารซัลไฟต์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์หมดสภาพไป ไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสีขึ้นได้ รวมทั้งทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้โปรตีนแตกออกได้ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับน้ำตาลได้สาร hydroxy sulfonate ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้โปรตีนหรือกรดอะมิโนและน้ำตาล ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม สามารถเก็บไว้ได้นานและคงความสด ไม่เหี่ยวง่าย นอกจากนี้สารซัลไฟต์ยังมีบทบาทในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นการถนอมรักษาอาหารอีกทางหนึ่งด้วย (อุดมเกียรติ, 2531)

2.2.5 ความคงตัวของสารซัลไฟต์ในอาหาร

สารซัลไฟต์เมื่อเติมลงไปในอาหาร เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศหรือออกซิเจนที่มีอยู่ในอาหารแล้วถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต ซึ่งเป็นสารที่มีความคงตัว ไม่มีพิษ และถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ในกรณีที่อาหารมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4 หรืออาหารที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ต้องใช้ความร้อน ปริมาณซัลไฟต์บางส่วนจะทำปฏิกิริยากับอาหารและสลายตัวให้ก๊าซ SO_2 ระเหยไป นอกจากนี้การรวมตัวของซัลไฟต์กับองค์ประกอบของอาหารบางชนิดจะให้สารประกอบ sulfonates ซึ่งมีความคงตัว เพราะฉะนั้นอาหารที่เจือปนซัลไฟต์ยิ่งเก็บไว้เป็นเวลานาน ปริมาณ SO_2 ที่เหลือตกค้างอยู่ จะยิ่งลดน้อยลง ในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตแยม ปริมาณสารซัลไฟต์ที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบของแยมและระเหยไปรวมกันประมาณ 98.5 % และจะเหลืออยู่ในรูปของซัลไฟต์อิสระน้อยกว่า 1.5 % (อุดมเกียรติ, 2531)

2.2.6 ความเป็นพิษของสารซัลไฟต์

ระดับความเป็นพิษภายหลังจากบริโภคอาหารที่มีสารซัลไฟต์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารซัลไฟต์ที่เติมลงไป ปริมาณของซัลไฟต์อิสระที่หลงเหลืออยู่ ชนิดและขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตอาหาร ระยะเวลาของการเก็บรักษาอาหาร และความไวต่อสารซัลไฟต์ของผู้บริโภค ส่วนความเป็นพิษจะปรากฏอาการหายใจติดขัด ปวดท้อง เวียนศีรษะ อาเจียน อุจจาระร่วง ความดันโลหิตต่ำ เป็นลมพิษ ในผู้ที่แพ้อย่างรุนแรงจะปรากฏอาการช็อค หมดสติและเสียชีวิต โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่เป็นโรคหืด จากการศึกษาในคนพบว่า การให้โซเดียมซัลไฟต์ในปริมาณ 4-5.8 กรัม/วัน จะเกิดอาการปวดท้องและอาเจียน ส่วนผู้ที่สัมผัสหรือสูดดมก๊าซ SO_2 ซึ่งมีความเข้มข้นตั้งแต่ 10 มก./กก. ขึ้นไป จะเกิดอาการระคายเคืองตา โพรงจมูกอักเสบ หลอดลมอักเสบ และระบบทางเดินหายใจส่วนบนอักเสบ (อุดมเกียรติ, 2531)

2.3 กรดมะนาว (Citric acid)

Citric acid เป็นกรดประเภท tricarboxylic ที่มีการใช้ในอาหารมานานกว่า 100 ปีแล้ว citric acid มีคุณสมบัติดีกว่ากรดชนิดอื่น ๆ คือ สามารถละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับ และเป็น chelating agent ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยจะช่วยทำปฏิกิริยากับโลหะที่อาจปนเปื้อนมาในวัตถุดิบ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้สีและกลิ่นรสของอาหารคงตัว

การเติม citric acid สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ เพราะทำให้เกิดสภาพ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์นี้จะทำงานในช่วงความเป็นกรดด่าง 6-7 การลดความเป็นกรดด่างของตัวกลางลงถึง 3.0 จะเป็นการทำลายกิจกรรม และ citric acid ยังมีความสามารถในการรวมตัวกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน จึงทำให้การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ผลดียิ่งขึ้น

14610

3. การใช้ความร้อนในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

การใช้ความร้อนในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO นั้น ได้มีการนำมาใช้กันเป็นเวลานานแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรม ผักผลไม้กระป๋อง หรือ ผักผลไม้แช่แข็ง เนื่องจากเอนไซม์เป็นสารประเภทโปรตีน เมื่อได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denature) ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ ซึ่งโดยปกติการใช้ความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์นั้นจะทำในลักษณะการลวก หรือ ต้มผักและผลไม้ที่อุณหภูมิ 70-90 °C ซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าวสามารถจะทำลายเอนไซม์ PPO ได้

4. การกำจัดออกซิเจน

การกำจัดออกซิเจนจากผิวของรอยตัดของผักผลไม้ให้หมดไปนั้นช้ากว่า การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมาก แต่การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดอย่างรวดเร็วเมื่อยังคงมีออกซิเจนสัมผัสอยู่ที่ผิว ดังนั้นการทำให้ปราศจาก ออกซิเจน จะเป็นการลดการเกิดสีน้ำตาลอาจทำได้โดย การจุ่มลงในน้ำ ,น้ำเชื่อม ,น้ำเกลือ ,การทำ Vacuum Deoxygenation และการลวก (Blanching) (Langdon, 1987)

ดังนั้นการป้องปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ บางครั้งจำเป็นต้องใช้มากกว่า 1 วิธี เพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้น เช่น ใช้ citric acid ควบคู่กับการใช้ SO_2 หรือใช้ ascorbic acid ร่วมกับ SO_2 เพราะวิธีนี้จะช่วยลดปริมาณ SO_2 ที่จะต้องใช้ทำให้มีผลดีต่อกลิ่นและรสของผักและผลไม้ และยังเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลให้ได้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นด้วย

[illegible]

การทำแห้งโดยกระบวนการออสโมติก (OSMOTIC DEHYDRATION)

ผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักผลไม้ การกำจัดน้ำออกจากชิ้นอาหารเป็นกระบวนการเริ่มต้นในการลด Water Activity (Aw) ให้ต่ำลง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่ง การบรรจุหีบห่อ และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สด

หลักการนี้จะถูกประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ในอาหารที่ดีปนละเอียด (purees) และอาหารเหลวมานานหลายปีแล้ว การทำให้ชิ้นอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น ต้องมีการใช้พลังงานต่ำสุด และต้องสามารถผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีการคืนรูป (rehydration)

วิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความชื้นและ ประหยัดพลังงานมากคือ วิธีการออสโมซิส (Osmosis) เนื่องจากน้ำไม่ได้ถูกกำจัดโดยการเปลี่ยนสถานะ เทคนิคนี้ใช้ความแตกต่าง ระหว่างแรงดันออสโมติกของผลิตภัณฑ์ และตัวกลางที่ล้อมรอบอยู่ ในการศึกษาทดลอง ทำแห้งแบบออสโมติค ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายๆชนิด ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นปานกลาง จะถูกผลิตโดยการจุ่มผลไม้ลงในสารละลายน้ำตาลซูโครส 70 °Bx เพื่อลดน้ำหนักน้ำลง 50 % จากนั้นผลิตภัณฑ์ จะถูกทำให้แห้ง โดยวิธีการใช้ สูญญากาศ หรือการทำแห้งด้วยอากาศร้อน เพื่อลดความชื้นลงอีกประมาณ 2% (Bolin และคณะ, 1983)

ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ที่ผลิตโดยกระบวนการแช่แข็ง (Freeze-dried Product) หากมีการเพิ่มปริมาณของแข็ง ในระดับ 25 - 35% ในผลิตภัณฑ์ ก่อนการนำไป freeze-dry จะช่วยในการลดปริมาณน้ำที่ถูกกำจัดโดยกระบวนการ ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายอย่างมาก นอกจากนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้ดีขึ้น กระบวนการที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณของแข็งในอาหารพวกผักผลไม้หั่นชิ้นบาง โดยทั่วไป คือกระบวนการออสโมติก

ผลไม้ที่มีปริมาณน้ำมาก จะถูกจุ่มลงในสารละลายที่มีแรงดันออสโมติคมากกว่าผลไม้ ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติค จะเป็นตัวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ โดยแรงขับเคลื่อน (Driving Force) แต่ปริมาณน้ำที่ออกจากผลไม้จะมีประมาณ 30-50 % ของน้ำหนักเริ่มต้นเท่านั้น เนื่องจากผนังเซลจะทำหน้าที่เป็น permeable membrane นอกจากนี้ เซลเมมเบรนก็จะเป็นตัวกั้นการผ่านของตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกเข้าสู่ผลไม้ ก็จะทำหน้าที่เป็น Selective Membrane ด้วย สมดุลออสโมติคที่เกิดขึ้นจึงเป็นเพียงการเลือกผ่านบางส่วน (Partially Selective)

สำหรับวิธีการออสโมติคโดยตรงนั้น จะเกิดกระบวนการแพร่ระหว่างน้ำ และตัวถูกละลายไปพร้อมๆ กันแต่จะเกิดในปริมาณไม่เท่ากัน เนื่องจากน้ำมีโมเลกุลเล็กกว่าจึงผ่านไปได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ตัวถูกละลายมีโมเลกุลใหญ่กว่า จึงแพร่ผ่านไปได้ช้ากว่า (Wuryani และ Poulter, 1994)

ตัวกลางออสโมติค (OSMOTIC MEDIA)

ตัวกลางออสโมติกที่ถูกนำมาใช้นี้ สามารถใช้ได้ในรูปของแข็ง ตัวอย่างเช่น corn syrup solid และในรูปสารละลาย (aqueous) เช่นสารละลายน้ำตาลซูโครส ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ความเข้มข้น 50-70 °Bx โดยทั่วไปสารละลายออสโมติคที่ใช้ จะต้องมีคุณสมบัติทั่วๆไป คือ มีค่า water activity (Aw) ต่ำ ไม่มีความเป็นพิษ และมีรสชาติดี (Bolin และคณะ, 1983 และ Wuryani และ Poulter, 1994)

แลคโตส (lactose) เป็นตัวกลางออสโมติคที่ไม่สามารถใช้เป็นตัวกลางออสโมติคตามลำพังได้ เนื่องจาก แลคโตสมีข้อจำกัดคือ มีความสามารถในการละลายต่ำประมาณ 25% ในระบบที่แห้ง น้ำตาลแลคโตส จะสร้างตัวเป็นชั้นเคลือบที่ผิวของผลไม้ทำให้การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากชิ้นผลไม้ ถูกขัดขวางได้ ดังนั้นจึงมีการใช้แลคโตสร่วมกับน้ำตาล ซูโครส โดยใช้แลคโตสทดแทนซูโครสบางส่วน ซึ่งจะพบว่ามีความเหมาะสมในการใช้ทั้งในรูปของตัวกลางที่เป็นของแข็งและสารละลาย

ในผลิตภัณฑ์ แอปเปิ้ล พบว่า การใช้ระบบของสารละลายน้ำตาลซูโครสและแลคโตส ให้ผลเป็นที่ยอมรับในด้าน ประสาทสัมผัสทั้ง 5 (Organoleptic)

Maltodextrin ก็สามารถใช้ทดแทนซูโครสบางส่วนได้เช่นกัน ทั้งแลคโตสและ Maltodextrin เป็นน้ำตาลที่มีความหวานน้อย ซึ่งหากใช้ร่วมกับซูโครสจะช่วยลดความหวานของผลิตภัณฑ์ลงได้ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีการยอมรับมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเป็นวิธีที่ใช้ทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งพบว่า อัตราการแพร่ (penetration) ของ HFCS (High Fructose Corn Syrup)ที่ใช้เป็นตัวกลางออสโมติกมีอัตราเร็วกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส แต่พบว่าน้ำตาลซูโครสจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการยอมรับด้านประสาทสัมผัสมากกว่าการใช้ตัวกลางออสโมติคที่มี HFCS มากเกินไป (Bolin และคณะ, 1983)

OSMOTIC AGENT

osmotic agent คือสารที่เติมลงไปในตัวกลางออสโมติค พบว่าการเติม NaCl ในสารละลายออสโมติค จะเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนของกระบวนการทำแห้งผลิตภัณฑ์ โดยจะเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ได้รับในผลิตภัณฑ์ โดยค่า Aw ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะไม่ขึ้นกับ Aw ของสารละลายตัวกลางออสโมติคแก่ขึ้นกับ ปริมาณการได้รับของแข็งในชิ้นผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการ (Lerici, 1985)

NaCl เป็นสารที่มีลักษณะที่เมื่ออยู่ในรูปของสารละลายจะเป็นสารละลายที่แตกตัว (Ionization in Solution) พบว่าสารละลาย NaCl 5-25 % จะทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้มข้นในผลิตภัณฑ์สูงขึ้นมาก เนื่องจากมีพลังงานจลน์สูงกว่า สารละลายน้ำตาลซูโครส พบว่าการใช้ NaClเล็กน้อยร่วมกับน้ำตาลซูโครส โดยปริมาณการยอมรับ NaCl ในผลิตภัณฑ์ ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ พบว่าในผลิตภัณฑ์ แอปเปิ้ล การใช้ NaCl ร่วมกับน้ำตาลในการใช้เป็นตัวกลางออสโมติคเป็นที่ยอมรับ

ในการทำแห้งแบบออสโมติค ด้วยสารละลายน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผลไม้ จะต้องคำนึงถึงรสชาติที่ยอมรับได้และเหตุผลทางสุขภาพ เนื่องจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำตาลที่สูง มีรายงานที่สนับสนุนว่าสามารถลดปริมาณน้ำตาลที่ผ่านเข้าสู่ชิ้นสับปะรดระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติค โดยการเคลือบผลไม้ระหว่างกระบวนการด้วยเมมเบรนที่รับประทานได้ เช่น pectin , alginate โดยเมมเบรนนี้จะมีความสามารถเป็นเยื่อเลือกผ่านโดยสามารถยอมให้โมเลกุลน้ำผ่านไปได้ แต่ไม่ยอมให้โมเลกุลของน้ำตาลเคลื่อนผ่าน โดยเมมเบรนที่จะนำมาใช้ จะต้องมีระดับการเลือกผ่านของน้ำตาลที่สูงกว่าเมมเบรนของผลไม้ จากรายงานพบว่า จะสามารถลดโมเลกุลของน้ำตาลที่แพร่ผ่านเข้าสู่ผลไม้ระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติคได้ (Wuryani และ Poulter, 1994)

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 เครื่องแก้ว

3.1.2 เครื่อง Blender

3.1.3 เครื่อง Centriguge (GR 4.11) ของ Jouan (วิธีการใช้แสดงในภาคผนวก ก.1)

3.1.4 pH-meter (SP-701) ของ SUNTEX (วิธีการใช้แสดงในภาคผนวก ก.2)

3.1.5 เครื่อง Spectrophotometer (CECIL 292) (วิธีการใช้แสดงในภาคผนวก ก.3)

3.1.6 เครื่องวัดสี (CR 300) ของ MINOLTA

3.1.7 เครื่อง Texturometer แบบ KMITL .

3.1.8 Magnetic stir plate

3.1.9 เครื่องชั่ง

3.1.10 ที่คั้นน้ำผลไม้

3.1.11 Refractometer NO. 1,2,3 ของ ATAGO

3.1.12 Aluminium can

3.1.13 Hot air oven

3.1.14 Hot plate

3.1.15 Desiccator

3.1.16 Tray dryer

3.1.17 ชุดทดสอบ Sensory test

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

3.2.1 สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

3.2.2 น้ำตาลทรายขาว (Sucrose)

3.2.3 น้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์

3.2.4 L-ascorbic acid

3.2.5 Citric acid

3.2.6 $CaCl_2$

3.2.7 $Na_2S_2O_5$

3.2.8 Potassium hydrogen phthalate

3.2.9 Standard NaOH solution

3.2.10 1% Phenolpthalein

3.2.11 Phosphate buffer pH 7.2

3.2.11.1 $Na_2HPO_4.7H_2O$

3.2.11.2 $NaH_2PO_4.H_2O$

3.2.12 1% KCl

3.2.13 0.1 M Sodium Acetate-Acetic buffer pH 5.0

3.2.13.1 Acetic acid

3.2.13.2 Sodium acetate

3.2.14 0.5 M Catechol

3.2.15 Cysteinehydrochloride

3.2.16 95% Ethanol

3.2.17 Fehling solution

3.2.17.1 $CuSO_4.5H_2O$

3.2.17.2 $KNaC_4H_4O_6.4H_2O$

3.2.18 Methylene blue indicator

3.2.19 5 N HCl

3.2.20 H_2SO_4 1:3

3.2.21 Sodium carbonate

3.2.22 0.02 N Standard iodine solution

3.2.23 40% Formaldehyde

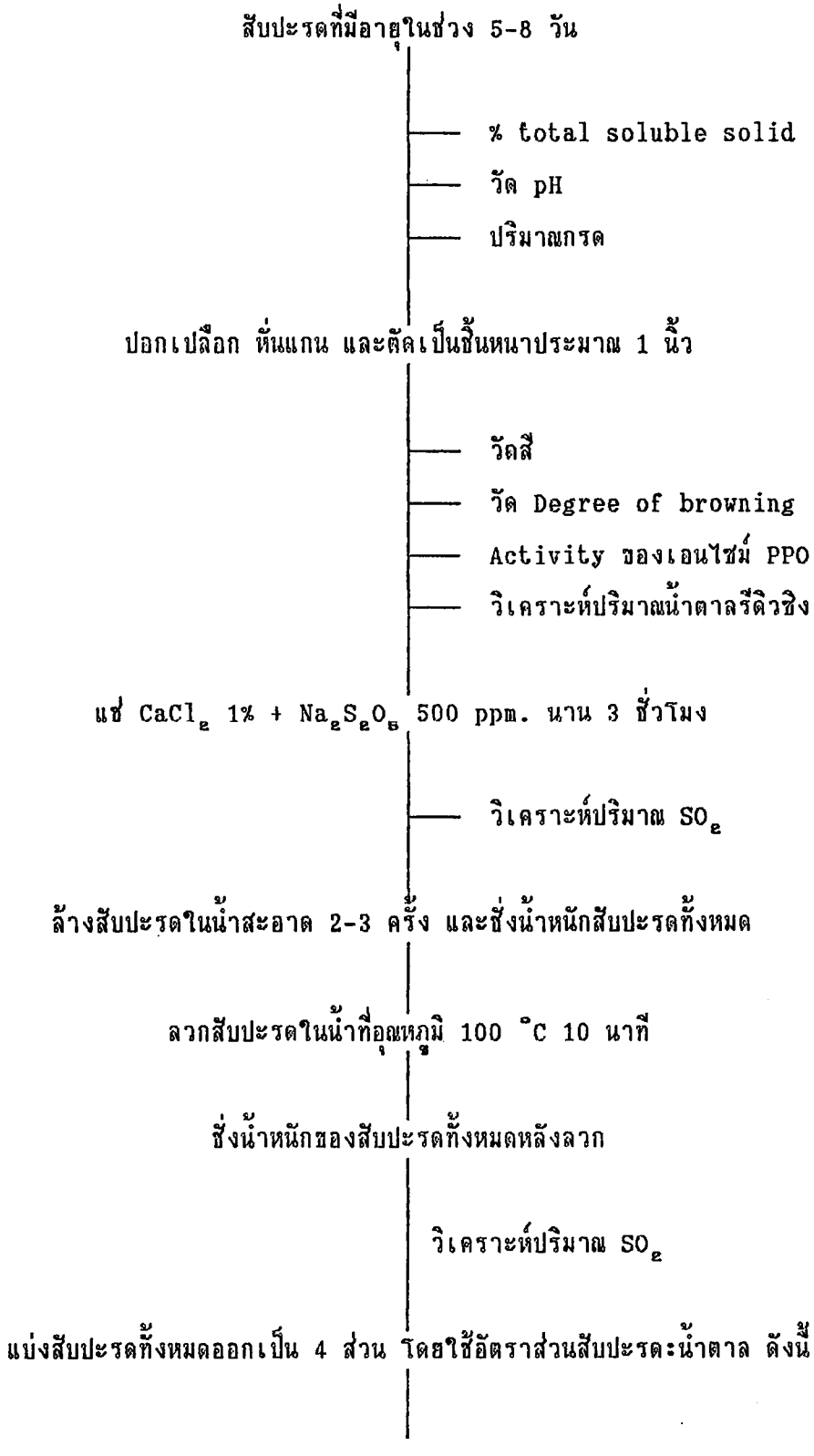
3.2.24 1% Starch solution

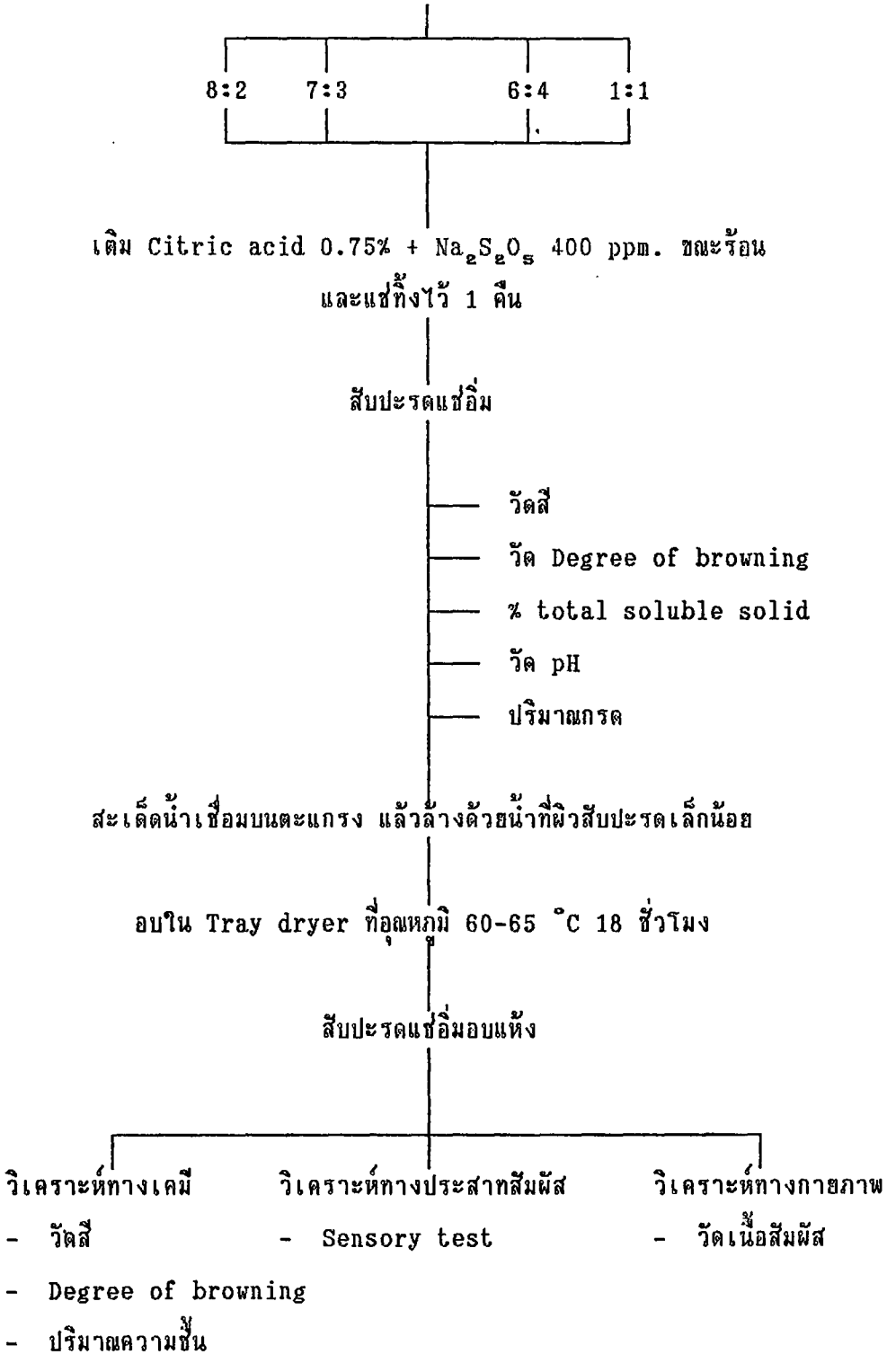
3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสับปะรดะน้ำตาลในกระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration

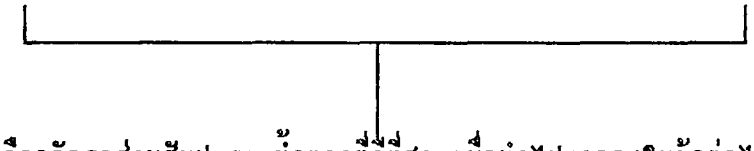
สับปะรดที่นำมาทดลองนี้เป็นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียหรือศรีราชา ซึ่งการเลือกสับปะรดนั้นจะต้องมีอายุอยู่ในช่วง 5-8 วัน เนื่องจากมีปริมาณเอนไซม์ PPO ต่ำ (กัญญารัตน์และสุมณฑิพย์, 2537) ซึ่งมีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลในระดับต่ำ โดยสีของตาสับปะรดทุกตายังคงมีสีเขียว เนื้อมีสีเหลืองชีด ไม่ช้ำหรือเน่า และนอกจากนี้สับปะรดที่ใช้จะต้องเป็นสับปะรด NO.2 เนื่องจากเป็นสับปะรดที่เหมาะจะใช้ในการแปรรูป

นำสับปะรดที่มีช่วงอายุดังกล่าวมาปอกเปลือก หั่นแกน ตัดเป็นชิ้นหนาประมาณ 1 นิ้ว นำมาแช่ใน $CaCl_2$ 1% และ $Na_2S_2O_5$ 500 ppm นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นล้างสับปะรดในน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง นำมาลวกที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 10 นาที แบ่งสับปะรดทั้งหมดออกเป็น 4 ส่วน โดยใช้อัตราส่วนสับปะรดต่อน้ำตาล 8:2, 7:3, 6:4 และ 1:1 และเติม citric acid 0.75% และ $Na_2S_2O_5$ 400 ppm แช่ทิ้งไว้ 1 คืน จะได้สับปะรดแช่อิ่ม จากนั้นสะเด็ดน้ำเชื่อมบนตะแกรง แล้วนำไปอบใน tray dryer ที่อุณหภูมิ 60-65 °C นาน 18 ชั่วโมง ก็จะได้สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง และนำไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.1


สับปะรดที่มีอายุในช่วง 5-8 วัน
% total soluble solid
วัด pH
ปริมาณกรด
ปอกเปลือก หั่นแกน และตัดเป็นชิ้นหนาประมาณ 1 นิ้ว
วัดสี
วัด Degree of browning
Activity ของเอนไซม์ PPO
วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง
แช่ $CaCl_2$ 1% + $Na_2S_2O_5$ 500 ppm. นาน 3 ชั่วโมง
วิเคราะห์ปริมาณ SO_2
ล้างสับปะรดในน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง และชั่งน้ำหนักสับปะรดทั้งหมด
ลวกสับปะรดในน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C 10 นาที
ชั่งน้ำหนักของสับปะรดทั้งหมดหลังลวก
วิเคราะห์ปริมาณ SO_2
แบ่งสับปะรดทั้งหมดออกเป็น 4 ส่วน โดยใช้อัตราส่วนสับปะรดะน้ำตาล ดังนี้


8:2
7:3
6:4
1:1
เติม Citric acid 0.75% + $Na_2S_2O_5$ 400 ppm. ขณะร้อน
และแช่ทิ้งไว้ 1 คืน
สับปะรดแช่อิ่ม
วัดสี
วัด Degree of browning
% total soluble solid
วัด pH
ปริมาณกรด
สะเด็ดน้ำเชื่อมบนตะแกรง แล้วล้างด้วยน้ำที่ผิวสับปะรดเล็กน้อย
อบใน Tray dryer ที่อุณหภูมิ 60-65 °C 18 ชั่วโมง
สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง
วิเคราะห์ทางเคมี
- วัดสี
- Degree of browning
- ปริมาณความชื้น
วิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส
- Sensory test
วิเคราะห์ทางกายภาพ
- วัดเนื้อสัมผัส

- วัด pH
- % total soluble solid
- ปริมาณกรด



เลือกอัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาลที่ดีที่สุด เพื่อนำไปทดลองในข้อต่อไป

ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration ด้วยอัตราส่วนสับปะรดต่อน้ำตาลต่าง ๆ

สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสับปะรด จะแบ่งเป็นส่วน ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1.1 คุณภาพของสับปะรดสด

ก. ความเป็นกรดด่าง (pH) โดยใช้ pH-meter

ข. ปริมาณกรด (% Titratable acidity as citric acid) โดยวิธีของ AOAC (1976) ดังแสดงในภาคผนวก ข.1

ค. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) โดยใช้ Refractometer

3.3.1.2 คุณภาพของสับปะรดหลังการตัดแต่ง

ก. Activity ของเอนไซม์ PPO โดยวิธีของ Coseteng และ Lee (1987) ดังแสดงในภาคผนวก ข.2

ข. วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง โดยวิธีของ Lane และ Eynon (1923) ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.3

ค. Degree of browning โดยวิธีของ Coseteng และ Lee (1987) ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.4

ง. สีของสับปะรด โดยใช้เครื่องวัดสี

3.3.1.3 วิเคราะห์ปริมาณ SO_2 โดยวิธีของ Ranganna(1977) ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.5

ก. สับปะรดหลังแช่ใน $CaCl_2$ 1% + $Na_2S_2O_5$ 500 ppm (ก่อนลวก)

ข. สับปะรดหลังลวก

3.3.1.4 การวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดหลังการแช่อิ่ม

ก. สีของสับปะรด

ข. Degree of browning

ค. ปริมาณ SO_2

ง. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดแช่อิ่ม

จ. ความเป็นกรดด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำเชื่อม

3.3.1.5 การวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

ก. สีของสับปะรด

ข. Degree of browning

ค. ปริมาณความชื้น โดยวิธีของ AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ข.6

ง. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

จ. ความเป็นกรดด่าง

ฉ. ปริมาณกรด

3.3.1.6 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

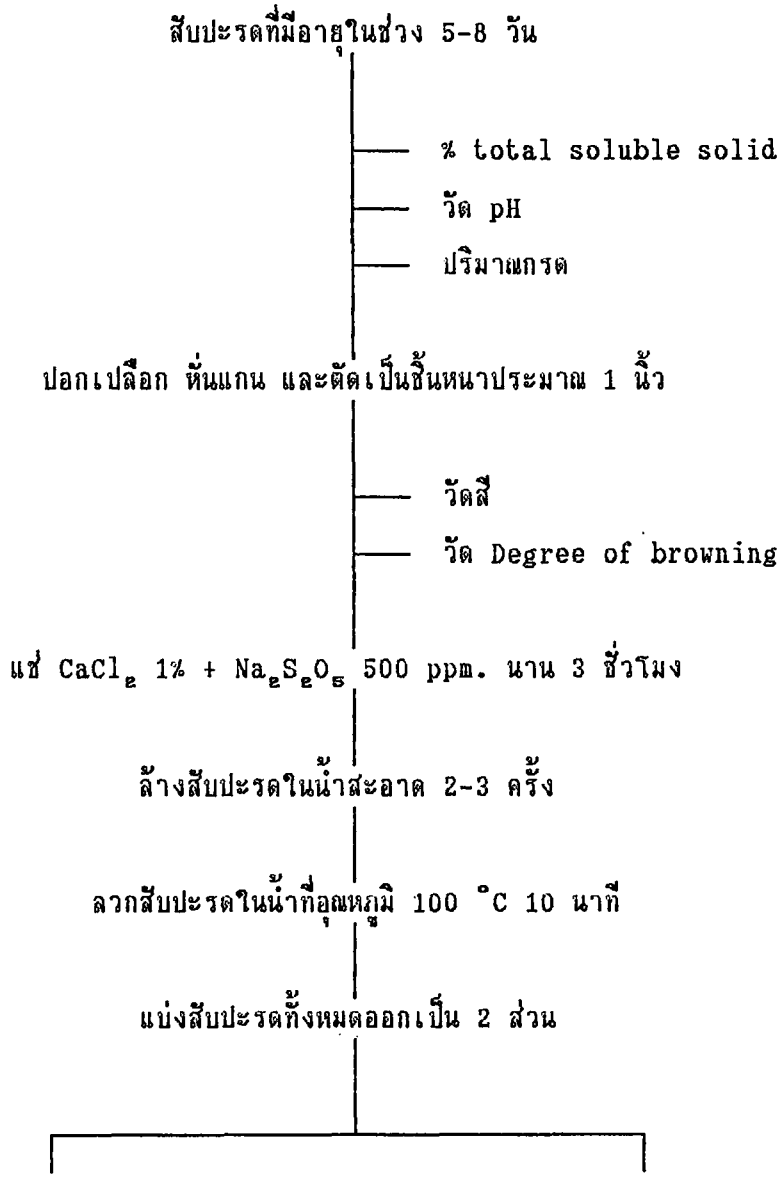
โดยใช้ผู้ชิม 13 คน ซึ่งจะใช้วิธีการทดสอบแบบ Hedonic โดยจะมีการวัดคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งในด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ ความหวาน ความเปรี้ยว และการยอมรับ และสำหรับการให้คะแนนจะมีคะแนนตั้งแต่ 1-9 ซึ่ง 1 จะหมายถึง ไม่-มากที่สุด และ 9 หมายถึง มากที่สุด (หรือดีที่สุด) ดังแสดงในภาคผนวก ง

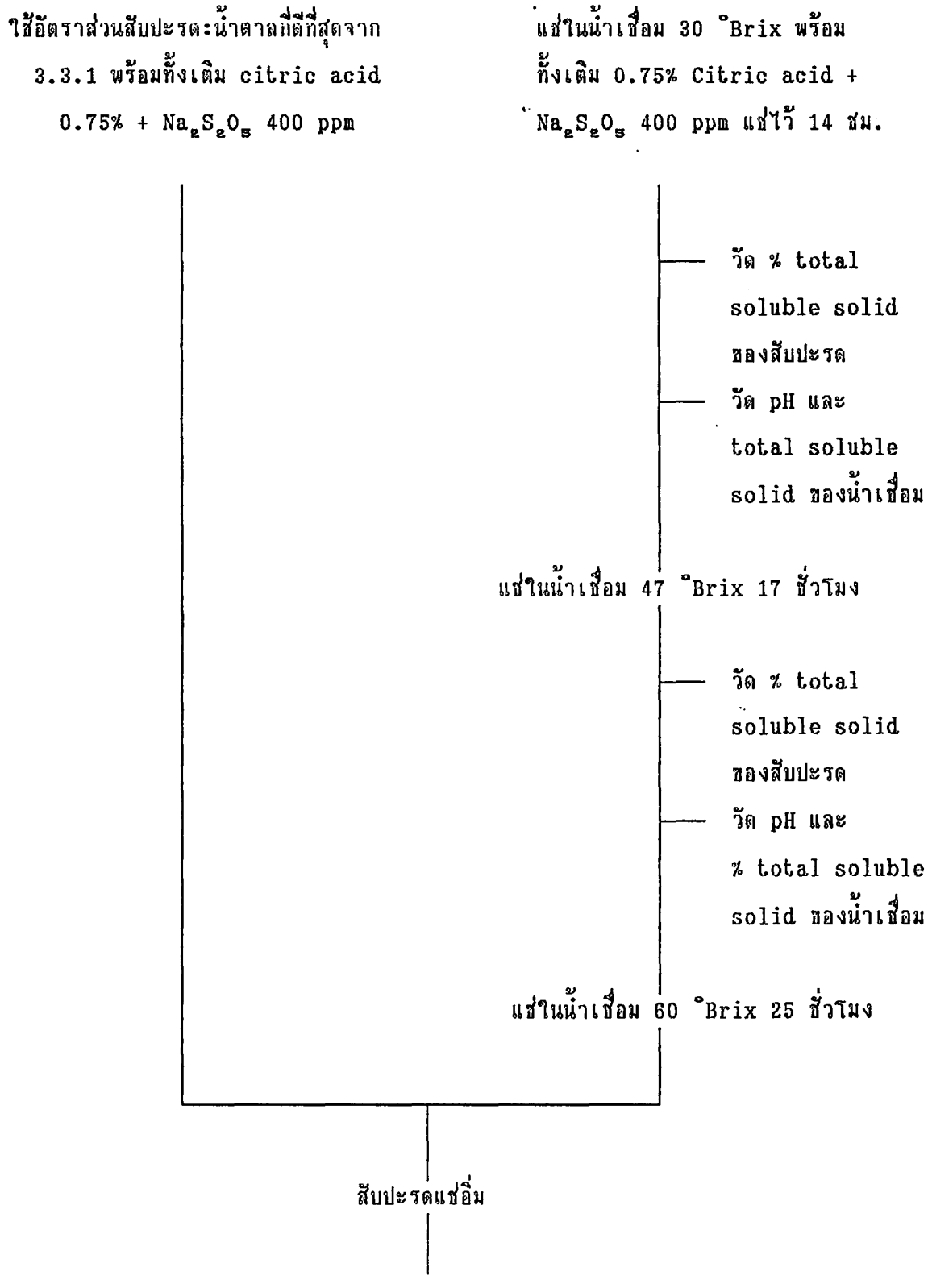
3.3.1.7 <u>การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพโดยการวัดเนื้อสัมผัสของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง</u>

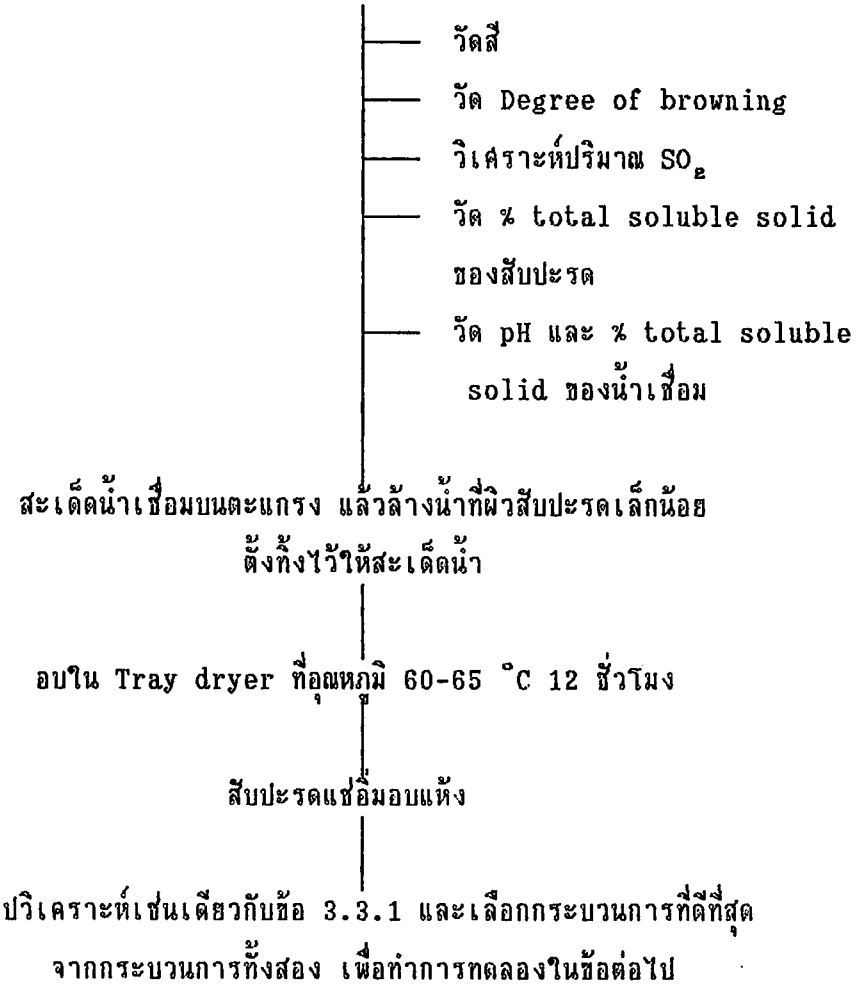
โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสแบบ KMITL ดังแสดงในภาคผนวก ข.7

3.2.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration กับกระบวนการแช่อิ่มอย่างช้า

นำสับปะรดที่อายุในช่วง 5-8 วัน มาปอกเปลือก หั่นแกน ตัดเป็นชิ้นหนาประมาณ 1 นิ้ว แล้วนำไปทดลองและวิเคราะห์คุณภาพ ดังแสดงในภาพที่ 3.2



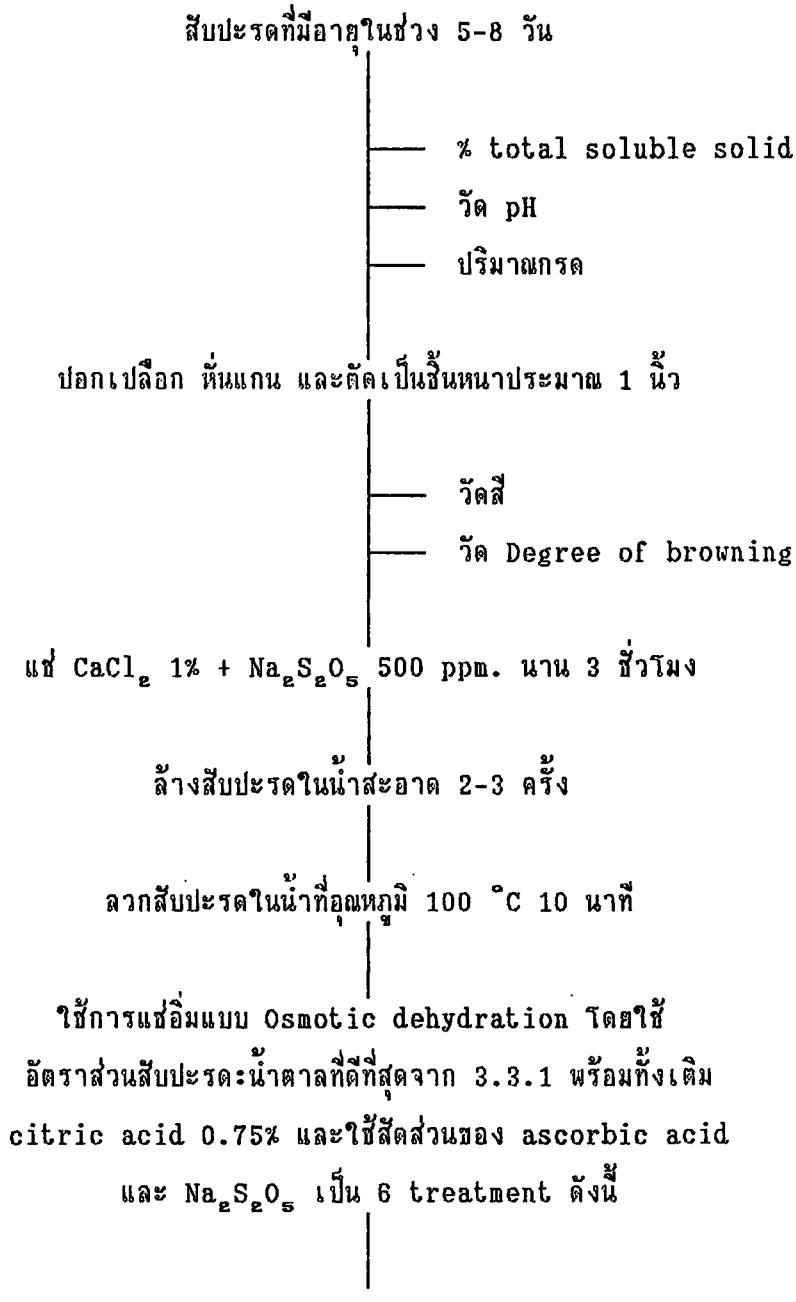

ใช้อัตราส่วนสับปะรดะน้ำตาลที่ดีที่สุดจาก 3.3.1 พร้อมทั้งเติม citric acid 0.75% + $Na_2S_2O_5$ 400 ppm
แช่ในน้ำเชื่อม 30 °Brix พร้อมทั้งเติม 0.75% Citric acid + $Na_2S_2O_5$ 400 ppm แช่ไว้ 14 ชม.
วัด % total soluble solid ของสับปะรด
วัด pH และ total soluble solid ของน้ำเชื่อม
แช่ในน้ำเชื่อม 47 °Brix 17 ชั่วโมง
วัด % total soluble solid ของสับปะรด
วัด pH และ % total soluble solid ของน้ำเชื่อม
แช่ในน้ำเชื่อม 60 °Brix 25 ชั่วโมง
สับปะรดแช่อิ่ม

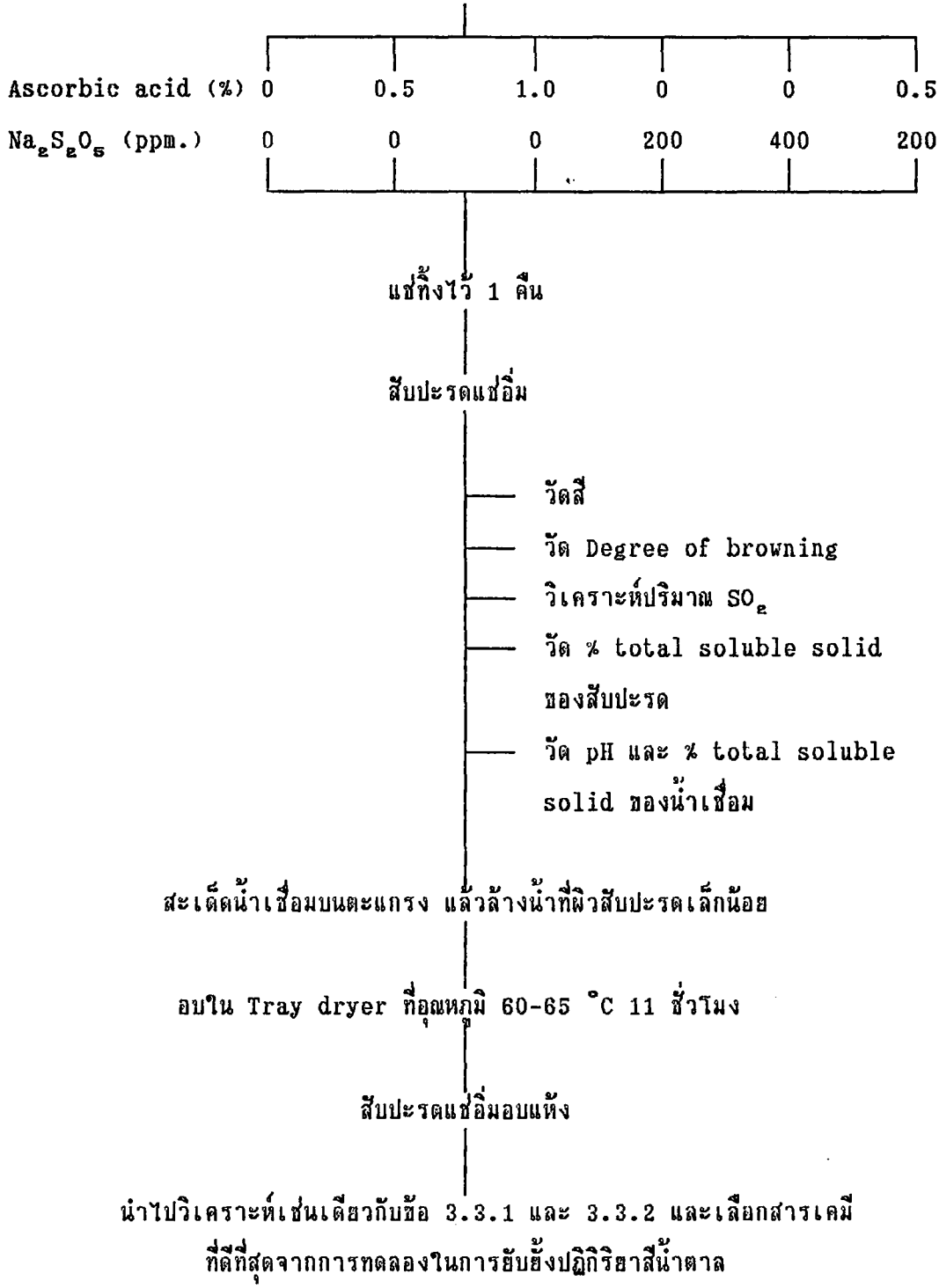


ภาพที่ 3.2 แผนภาพเปรียบเทียบกระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งแบบ Osmotic dehydration และกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

3.3.3 การเปรียบเทียบผลของการใช้สารเคมี (Ascorbic acid และ $Na_2S_2O_5$) ในการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล และสัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้ในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

นำสับปะรดที่มีอายุในช่วง 5-8 วัน มาปอกเปลือก หั่นแกน และตัดเป็นชิ้นหนาประมาณ 1 นิ้ว แล้วนำไปทดลองและวิเคราะห์คุณภาพ ดังแสดงในภาพที่ 3.3





ภาพที่ 3.3 แผนภาพแสดงการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิคในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสับปะรดะน้ำตาลในกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration

4.1.1 คุณภาพของสับปะรดสด

จากการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดสดพบว่า สับปะรดที่นำมาทดลองมีค่า pH โดยเฉลี่ย เท่ากับ 3.74 ปริมาณกรดคิดเป็น citric acid 1.16% และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 14.5 °Bx โดยทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างที่สุ่มมา 12 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดสด

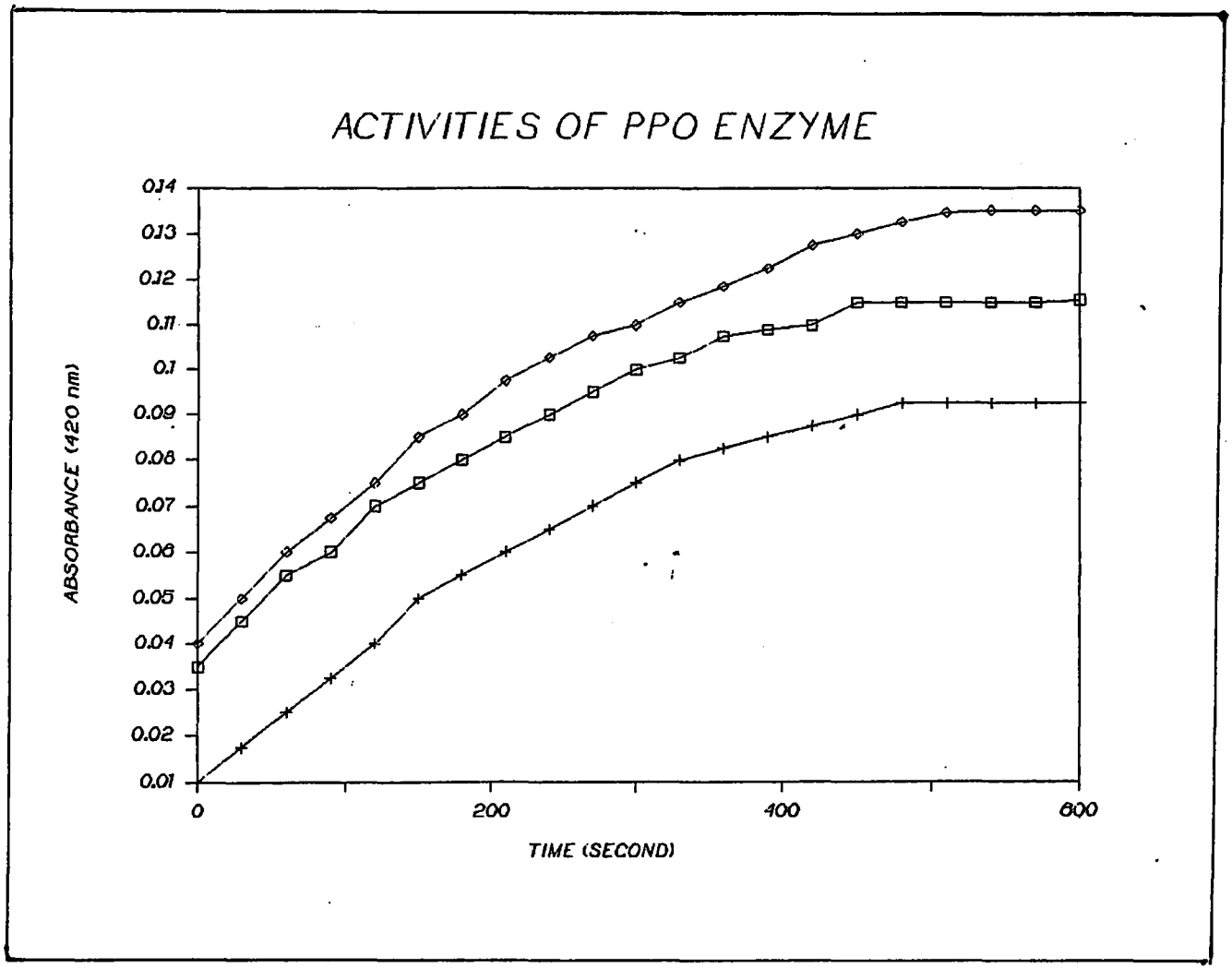
pH	ปริมาณกรด (%) (คิดเป็นกรดซิตริค)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)
3.74	1.16	14.5

4.1.2 คุณภาพของสับปะรดหลังการตัดแต่ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดหลังการตัดแต่งพบว่า ค่าการวัดสีเป็นดังนี้ L = 49.59, a = -2.94, b = 16.83 และ E = 52.45 มี degree of browning เท่ากับ 0.012 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงคิดเป็น 3.16% และมี activity ของเอนไซม์ PPO เท่ากับ 0.00014 unit ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดหลังการตัดแต่ง

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (unit)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (%)	Degree of browning	ค่าการวัดสี			
			L	a	b	E
0.00014	3.16	0.012	49.59	-2.94	16.83	52.45



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO

หมายเหตุ ค่าความชันของกราฟคือ ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO (Activity of PPO Enzyme) มีหน่วยเป็น unit หาค่ากิจกรรมได้จากการทำ Regression ของกราฟแสดงกิจกรรมนี้ โดยใช้โปรแกรม LOTUS 123

4.1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ combined SO_2 ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผลของการลวก

จากการนำสับปะรดหลังการตัดแต่งแช่ในสารละลาย $CaCl_2$ 1% และ $Na_2S_2O_5$ 500 ppm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อนำมาล้างน้ำ 2-3 ครั้งแล้ว พบว่ามีปริมาณ combined SO_2 1.7070 ppm และเมื่อนำมาลวกที่อุณหภูมิ 100 °C 10 นาที พบว่า มีปริมาณ combined SO_2 เหลือเพียง 0.6830 ppm ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นว่าผลของการลวกทำให้ปริมาณ SO_2 ลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งได้สูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก และการระเหยไประหว่างลวก นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า น้ำหนักของสับปะรดหลังจากผ่านการลวกที่ 100 °C 10 นาที แล้วจะสูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 20%

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ SO_2 หลังการแช่ใน $CaCl_2$ 1% และ $Na_2S_2O_5$ 500 ppm (ก่อนการลวก) และปริมาณ SO_2 หลังการลวก

สภาวะ	ปริมาณ SO_2 (ppm)
ก่อนการลวก	1.7070
หลังการลวก	0.6830

4.4 การวัดคุณภาพของสับปะรดหลังการแช่อิ่ม

จากการวิเคราะห์พบว่า สับปะรดที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration โดยมีอัตราส่วนของสับปะรด:น้ำตาล 8:2, 7:3, 6:4 และ 1:1 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิ้นสับปะรดเพิ่มขึ้น ซึ่งเท่ากับ 27.2, 39.0, 41.8 และ 44.2 °Bx ตามลำดับ โดยเมื่อผ่านกระบวนการแช่อิ่ม 1 คืน น้ำตาลจากภายนอกจะแพร่เข้าไปในสับปะรดและน้ำในสับปะรดจะแพร่ออกมา และทำให้ระบบภายนอกชิ้นสับปะรด

กลายเป็นสารละลายน้ำเชื่อม ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ดังนี้คือ 32.6, 43.2, 51.8 และ 60.4 °Bx ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิ้นสับปะรดและระบบภายนอกนั้นไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าระบบไม่ถึงสมดุล ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการใช้เวลาในการแช่น้อยไป นอกจากนี้สับปะรดยังมีผนังเซลและเซลเมมเบรนที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านด้วย (Wuryani และ Poulter, 1984) และจากการทำ Osmotic dehydration ที่เร็วเกินไปนั้นยังพบว่า ลักษณะของชิ้นสับปะรดจะมีส่วนฉีกขาดและหลุดจากชิ้น ซึ่งนอกจากจะทำให้มีลักษณะที่ไม่พึงประสงค์แล้ว ยังทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณผลผลิต (yield) อีกด้วย และจากการวิเคราะห์ค่า pH และปริมาณกรดของสารละลายน้ำเชื่อมที่เกิดขึ้นพบว่า มีค่า pH และปริมาณกรดไม่แตกต่าง โดยมีค่า pH ดังนี้ 2.92, 2.82, 2.74 และ 2.69 ตามลำดับ และมีปริมาณกรดดังนี้ 2.96%, 3.14%, 3.17% และ 3.67% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดแช่อิ่ม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของน้ำเชื่อม

สับปะรด:น้ำตาล	สับปะรด	น้ำเชื่อม		
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	pH	ปริมาณกรด (%)
8:2	27.2	32.6	2.92	2.96
7:3	39.0	43.2	2.82	3.14
6:4	41.8	51.8	2.74	3.17
1:1	44.2	60.4	2.69	3.67

จากการทดลองยังได้วัดสีและ degree of browning ของสับปะรดแช่อิ่มอีกด้วย พบว่า degree of browning จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำตาลที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยมีค่าดังนี้ 0.030, 0.020, 0.015 และ 0.015 ตามลำดับ และผลของการวัดสีก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยผลการทดลองจะแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า Degree of browning และ ค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่ม

สับปะรด:น้ำตาล	Degree of browning	ค่าการวัดสี			
		L	a	b	E*
8:2	0.030	51.82	-4.97	16.53	54.62[a]
7:3	0.020	51.39	-4.19	17.14	54.33[a]
6:4	0.015	45.51	-3.60	14.83	48.00[a]
1:1	0.015	43.83	-3.55	15.10	46.49[a]

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.5 การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

หลังจากอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าดังนี้ 69.6, 72.0, 72.6 และ 73.5 °Bx ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณของแข็งจะสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของน้ำตาลเพิ่มขึ้น และจากการวัดค่า pH ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 อัตราส่วน ไม่มีความแตกต่าง โดยมีค่าดังนี้ 2.70, 2.82, 2.72 และ 2.76 ตามลำดับ และมีปริมาณกรดเป็นดังนี้ 8.99%, 8.86%, 8.90% และ 8.99% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

สับปะรด:น้ำตาล	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	pH	ปริมาณกรด (%) (คิดเป็นกรดซิตริค)
8:2	69.6	2.70	8.99
7:3	72.0	2.82	8.86
6:4	72.6	2.72	8.90
1:1	73.5	2.76	8.99

สำหรับ degree of browning ในสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมีความแตกต่างกัน โดยเมื่ออัตราส่วนของน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่า degree of browning จะลดลง โดยค่า degree of browning และค่าการวัดสี ได้แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

สับปะรด:น้ำตาล	Degree of browning	ค่าการวัดสี			
		L	a	b	E^*
8:2	0.025	52.21	-1.95	31.84	61.18[a]
7:3	0.021	51.63	-2.81	24.98	57.42[a]
6:4	0.0125	53.39	-3.05	23.22	58.30[a]
1:1	0.007	50.08	-2.97	20.74	54.29[a]

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับปริมาณ SO_2 ในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมีค่าดังนี้ 17.1520, 17.1520, 25.6512 และ 24.6528 ppm (คิดเป็น wet basis) ตามลำดับ ส่วนปริมาณความชื้นคิดเป็น wet basis (wb) และ dry basis (db) ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณ SO_2 และปริมาณความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

สับปะรด:น้ำตาล	ปริมาณ SO_2 (ppm) (wb)	ปริมาณความชื้น	
		% wb	% db
8:2	17.1520	20.07	25.11
7:3	17.1520	25.02	33.37
6:4	25.6512	24.02	31.61
1:1	24.6528	25.55	34.32

จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อบแห้งจะสูงขึ้น เมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ซึ่งก็เนื่องจากอัตราส่วนของน้ำตาลที่ใช้ โดยสัดส่วนของน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวดึงน้ำเอาไว้ โดยน้ำและน้ำตาลจะสร้างพันธะไฮโดรเจน จึงสามารถอุ้มน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ น้ำส่วนนี้ก็คือ bound water นั่นเอง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะชื้นขึ้น ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แห้งจนเกินไปและน่ารับประทาน

4.1.6 <u>การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส</u>

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสพบว่า ผลของการยอมรับทั้ง 4 อัตราส่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 95% โดยที่อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 7:3 จะเป็นที่ยอมรับมากที่สุด โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 ส่วนผลของลักษณะปรากฏพบว่าที่อัตราส่วน 7:3, 6:4 และ 1:1 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 95% สำหรับผลทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 95% เช่นเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้ก็ตรงกับค่าการวัดสีในสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ในด้านความกรอบ ความหวาน และความเปรี้ยว พบว่าที่อัตราส่วน 8:2 จะมีค่าแตกต่างจากอัตราส่วนอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

<u>ตารางที่ 4.9</u> ผลคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

คุณภาพที่ทดสอบ	สับปะรด:น้ำตาล*			
	8:2	7:3	6:4	1:1
ลักษณะปรากฏ	4.6^{b}	6.4^{a}	6.9^{a}	6.9^{a}
สี	5.8^{a}	6.3^{a}	7.2^{a}	5.5^{a}
ความกรอบ	5.7^{a}	5.2^{ab}	4.0^{b}	4.8^{ab}
ความหวาน	5.6^{b}	6.7^{a}	7.4^{a}	7.1^{a}
ความเปรี้ยว	7.3^{a}	5.9^{ab}	5.1^{b}	4.8^{b}
การยอมรับ	6.7^{a}	7.2^{a}	5.7^{a}	5.8^{a}

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.7 การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยการทดสอบการวัดเนื้อสัมผัส

ผลการทดสอบโดยการวัดเนื้อสัมผัสพบว่า อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 8:2, 7:3, 6:4 และ 1:1 มีค่าแรงสูงสุดในการกดชิ้นผลิตภัณฑ์จนทะลุมีหน่วยเป็นกิโลกรัมดังนี้ 3.0895, 2.3629, 1.2958 และ 1.2084 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าแรงสูงสุดก็คือ ที่อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 8:2 รองลงมาก็คือ 7:3 ซึ่งแตกต่างจาก 6:4 และ 1:1 โดยทั้งสองอัตราส่วนนี้มีค่าแรงใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าแรงกดทะลุของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

สับปะรด:น้ำตาล	ค่าแรงกดทะลุ (กิโลกรัม)
8:2	3.0895
7:3	2.3629
6:4	1.2958
1:1	1.2084

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางประสาทสัมผัส และทางการวัดเนื้อสัมผัส พบว่า อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 7:3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีคะแนนเฉลี่ยในด้านการยอมรับสูงสุด อีกทั้งยังมีระดับการเกิดสีน้ำตาลในระดับต่ำ และนอกจากนี้ยังเป็นอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าอัตราส่วน 6:4 และ 1:1

4.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration กับกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

4.2.1 คุณภาพของสับปะรดสด

จากการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดสดพบว่า สับปะรดที่นำมาทดลองมีค่า pH โดยเฉลี่ย เท่ากับ 3.59 ปริมาณกรดคิดเป็น citric acid 1.98% และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 14.6 °Bx ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดสด

pH	ปริมาณกรด (%) (คิดเป็นกรดซิตริค)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)
3.59	1.98	14.6

4.2.2 คุณภาพของสับปะรดหลังการตัดแต่ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดหลังการตัดแต่งพบว่า ค่าการวัดสีเป็นดังนี้ L = 58.62, a = -3.60, b = 22.07 และ E = 62.74 มี degree of browning เท่ากับ 0.013 ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดหลังการตัดแต่ง

Degree of browning	ค่าการวัดสี			
	L	a	b	E
0.013	58.62	-3.60	22.07	62.74

4.2.3 การวัดคุณภาพของสับปะรดหลังการแช่อิ่ม

จากการแช่อิ่มสับปะรดด้วยกระบวนการแบบ Osmotic dehydration และกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า พบว่า กระบวนการแช่อิ่มแบบช้าจะมีอัตราการแพร่ผ่านของน้ำตาลเข้าไปในชิ้นผลิตภัณฑ์ในอัตราที่สูงกว่า โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 42.0 และ 53.0 °Bx ตามลำดับ โดยจากผลการทดลองพบว่า สมดุลสุดท้ายระหว่างสับปะรดกับน้ำเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทั้งสอง กระบวนการแช่อิ่มแบบช้าจะสามารถเข้าสู่สมดุลได้ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของชิ้นสับปะรดและน้ำเชื่อมมีค่าเท่ากันคือ 53 °Bx แต่กระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration มีการแพร่ที่ไม่สมดุลคือ ในชิ้นสับปะรดมีค่าเท่ากับ 42.0 °Bx แต่ในน้ำเชื่อมมีค่าเท่ากับ 43.9 °Bx ส่วนค่า pH นั้น จะมีค่าเท่ากับ 2.71 และ 2.81 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดแช่อิ่ม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรดด่างของน้ำเชื่อม

การแช่อิ่ม	สับปะรด	น้ำเชื่อม	
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	pH
1) Osmotic dehydration	42.0	43.9	2.71
2) แบบช้า			
30 °Bx	21.6	25.1	2.63
47 °Bx	32.5	40.5	2.92
60 °Bx	53.0	53.0	2.81

จากการทดลองเมื่อวัด degree of browning ของสับปะรดแช่อิ่ม พบว่ากระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration จะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้สูงกว่ากระบวนการแช่อิ่มแบบช้า โดยมีค่า 0.018 และ 0.0125 ตามลำดับ ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากสภาวะที่ทำการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration ทำให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อมากกว่า จึงเป็นการเร่งอัตราการการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลด้วยการวัดสี จะเห็นว่ามีค่าสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า Degree of browning และ ค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่ม

การแช่อิ่ม	Degree of browning	ค่าการวัดสี			
		L	a	b	E*
1) Osmotic dehydration	0.018	48.82	-4.51	14.88	51.24[a]
2) แบบช้า	0.0125	43.75	-3.20	12.04	45.49[a]

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับปริมาณ combined SO_2 ในผลิตภัณฑ์นั้นพบว่า ปริมาณที่พบในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration จะมีค่าสูงกว่าแบบช้า โดยมีค่าเท่ากับ 11.52 และ 4.99 ppm ตามลำดับ (คิดเป็น wet basis) ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่ หลังการแช่อิ่ม

การแช่อิ่ม	ปริมาณ SO_2 (ppm)
Osmotic dehydration	11.52
กระบวนการแช่อิ่มแบบช้า	4.99

4.2.4 การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

หลังจากอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสับปะรดที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration มีค่าต่ำกว่าแบบช้า โดยมีค่า 62.8 และ 65.6 ตามลำดับ โดยมีสาเหตุจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์หลังการแช่อิ่มนั่นเอง สำหรับค่า pH และปริมาณกรดพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยสับปะรดที่ผ่านกระบวนการ Osmotic dehydration จะมีค่า pH ต่ำกว่าแบบช้า คือมีค่าดังต่อไปนี้ 2.78 และ 2.92 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

การแช่อิ่ม	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	pH	ปริมาณกรด (%) (คิดเป็นกรดซิตริค)
1) Osmotic dehydration	62.8	2.78	15.95
2) แบบช้า	65.6	2.92	12.47

สำหรับ degree of browning ในสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่อิ่มแบบช้านั้นสูงกว่า ซึ่งมีค่า 0.0315 และ 0.0245 ซึ่งเป็นผลมาจากค่า pH และปริมาณ combined SO_2 ของผลิตภัณฑ์หลังการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration เหลืออยู่มากกว่าแบบช้า และมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยา Maillard ระหว่างกระบวนการอบแห้งเนื่องจากก่อนทำการอบแห้งนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มแบบช้ามีปริมาณน้ำตาล

ในผลิตภัณฑ์สูงกว่า ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard ขึ้น โดยที่ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้จะเกิดจากน้ำตาลรีดิวซิงซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา สำหรับค่าการวัดสีของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ได้แสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

การแช่อิ่ม	Degree of browning	ค่าการวัดสี			
		L	a	b	E^*
1) Osmotic dehydration	0.0245	49.25	-3.55	23.12	54.52ª
2) แบบช้า	0.0315	45.02	-2.97	17.26	48.31ª

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับปริมาณ SO_2 ในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration มีปริมาณสูงกว่าแบบช้า คือมีค่า 14.67 และ 5.63 ppm ตามลำดับ ส่วนปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ พบว่า กระบวนการแช่อิ่มแบบช้านั้น ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณความชื้นสูงกว่าแบบ Osmotic dehydration ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ปริมาณ SO_2 และปริมาณความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

การแช่อิ่ม	ปริมาณ SO_2 (ppm) (wb)	ปริมาณความชื้น	
		% wb	% db
1) Osmotic dehydration	14.67	23.16	30.14
2) แบบซ้ำ	5.63	29.65	42.15

4.2.5 การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสพบว่า ลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 95% แต่ในด้านความหวาน และความเปรี้ยวจะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 95% โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration จะมีความหวานน้อยกว่า แต่มีความเปรี้ยวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มแบบซ้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

คุณภาพที่ทดสอบ	กระบวนการแช่อิ่ม*	
	Osmotic dehydration	แบบช้า
ลักษณะปรากฏ	6.23[a]	7.23[a]
สี	7.46[a]	7.54[a]
ความกรอบ	5.31[a]	5.31[a]
ความหวาน	6.92[b]	8.00[a]
ความเปรี้ยว	7.69[a]	6.54[b]
การยอมรับ	5.69[a]	5.77[a]

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.6 <u>การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยการทดสอบการวัดเนื้อสัมผัส</u>

ผลการทดสอบโดยการวัดเนื้อสัมผัสพบว่า ค่าแรงกดทะลุของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration และแบบช้า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าดังนี้ 1.3838 และ 1.1211 ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.20

<u>ตารางที่ 4.20</u> ค่าแรงกดทะลุของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งจากกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration และกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

การแช่อิ่ม	ค่าแรงกดทะลุ (กิโลกรัม)
Osmotic dehydration	1.3838
กระบวนการแช่อิ่มแบบช้า	1.1211

เนื่องจากในกระบวนการแช่อิ่มแบบช้านั้นจะใช้เวลานาน และต้องเตรียมการสำหรับกระบวนการมากกว่ากระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration และจากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้าน จึงสรุปได้ว่า กระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration โดยใช้อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 7:3 จะเป็นกระบวนการที่ดีกว่าเหมาะสมในการผลิต และประหยัดค่าใช้จ่ายรวมทั้งเวลาด้วย

4.3 การเปรียบเทียบผลของการใช้สารเคมี (Ascorbic acid และ $Na_2S_2O_5$) ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและสัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้สำหรับผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

4.3.1 คุณภาพของสับปะรดสด

จากการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดสดพบว่า สับปะรดที่นำมาทดลองมีค่า pH โดยเฉลี่ย เท่ากับ 3.78 ปริมาณกรดคิดเป็น citric acid 1.07% และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 12.2 °Bx ดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดสด

pH	ปริมาณกรด (%) (คิดเป็นกรดซิตริค)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)
3.78	1.07	12.2

4.3.2 คุณภาพของสับปะรดหลังการตัดแต่ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดหลังการตัดแต่งพบว่า ค่าการวัดสีเป็นดังนี้ L = 62.24, a = -3.24, b = 19.76 และ E = 65.38 มี degree of browning เท่ากับ 0.007 ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดหลังการตัดแต่ง

Degree of browning	ค่าการวัดสี			
	L	a	b	E
0.013	62.24	-3.24	19.76	65.38

4.3.3 การวัดคุณภาพของสับปะรดหลังการแช่อิ่ม

กำหนดให้ I = treatment ที่ไม่มีการใช้สารเคมีใด ๆ (control)
II = treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 0.5%
III= treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 1%
IV = treatment ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm
V = treatment ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ 400 ppm
VI = treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 0.5% และ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm

จากการแช่อิ่มสับปะรดด้วยกระบวนการแบบ Osmotic dehydration พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารเคมีแตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่าง โดยเมื่อผ่านการแช่อิ่ม 1 คืนแล้ว พบว่า สับปะรดและน้ำเชื่อมยังมีความแตกต่างของปริมาณของแข็งที่ละลายได้เช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา แต่ค่า pH นั้น มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่วิเคราะห์ได้ว่าเป็นผลมาจาก ascorbic acid ที่เติมลงไป โดย treatment ที่มีการเติม ascorbic acid นั้น จะมีค่า pH ต่ำกว่า treatment ที่เติม $Na_2S_2O_5$ ซึ่งค่า pH ที่ลดลงนี้จะขึ้นกับปริมาณ ascorbic acid ที่เพิ่มขึ้น ดัง

แสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดแช่อิ่ม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรดด่างของน้ำเชื่อม

Treatment	สับปะรด	น้ำเชื่อม	
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	pH
I	34.0	41.2	3.02
II	37.0	40.8	2.85
III	39.0	42.3	2.84
IV	37.3	41.4	2.95
V	35.0	42.0	2.98
VI	36.2	41.3	2.89

สำหรับ degree of browning ของสับปะรดแช่อิ่ม พบว่า degree of browning ของ treatment ที่ไม่ใช้สารเคมี มี degree of browning สูงสุดคือ 0.010 และ treatment ที่ใช้ ascorbic acid ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลพบว่า ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ ascorbic acid จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งดีขึ้น โดย degree of browning ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ ascorbic acid 0.5% และ 1% มีค่า 0.0085 และ 0.007 ตามลำดับ โดยจะมี degree of browning ซึ่งสูงกว่าการใช้ $Na_2S_2O_5$ ในการยับยั้ง ซึ่งค่า degree of browning ของ treatment ที่ใช้ $Na_2S_2O_5$ 200 และ 400 ppm มีค่าดังนี้ 0.006 และ 0.005 ตามลำดับ และ

การใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm มี degree of browning ต่ำกว่าการใช้ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm แต่สูงกว่าการใช้ $Na_2S_2O_5$ 400 ppm ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้ ascorbic acid มีผลยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ต่ำกว่าการใช้ $Na_2S_2O_5$ แม้จะใช้ ascorbic acid ในปริมาณที่สูงกว่า สำหรับผลของการวัดสีพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 95% ผลของค่า degree of browning และค่าการวัดสีแสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่ม

Treatment	Degree of browning	ค่าการวัดสี			
		L	a	b	E^*
I	0.010	45.92	-3.81	15.38	48.58[a]
II	0.0085	45.58	-4.58	15.30	48.30[a]
III	0.007	47.42	-4.77	15.06	49.98[a]
IV	0.006	48.84	-4.81	14.52	51.18[a]
V	0.005	48.27	-4.67	14.17	50.52[a]
VI	0.0055	45.65	-4.42	14.82	49.15[a]

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับปริมาณ combined SO_2 ในผลิตภัณฑ์นั้นพบว่าปริมาณ combined SO_2 ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมสารเคมีในการยับยั้ง (control) นั้น มีปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่ต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 0.256 ppm และผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ ใน

การยับยั้ง มีปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่รองลงมา และผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ ascorbic acid จะมีปริมาณ SO_2 เหลืออยู่มากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่ หลังการแช่อิ่ม

Treatment	ปริมาณ SO_2 (ppm)
I	0.256
II	3.328
III	8.928
IV	1.139
V	4.271
VI	2.440

4.3.4 การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

หลังจากอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ค่า pH นั้น มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้ว่าเป็นผลมาจาก ascorbic acid ที่เติมลงไป โดย treatment ที่มีการเติม ascorbic acid จะมีค่า pH ต่ำกว่า treatment ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

Treatment	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Bx)	pH	ปริมาณกรด (%) (คิดเป็นกรดซิตริค)
I	59.8	3.06	4.71
II	65.2	3.03	5.09
III	63.2	2.92	6.22
IV	61.4	3.14	3.96
V	62.8	3.13	3.96
VI	62.0	3.03	5.09

สำหรับ degree of browning ในสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง พบว่ามีความแตกต่างกัน โดย treatment ที่ไม่มีการใช้สารเคมี จะมี degree of browning สูงสุด คือเท่ากับ 0.066 และลดลงมาเรื่อย ๆ ในแต่ละ treatment แต่ treatment ที่มี degree of browning ต่ำสุดก็คือ treatment ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ 400 ppm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.032 โดยจะมีค่าใกล้เคียงกับ treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 0.5% กับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.035 สำหรับผลของการวัดสีความแตกต่างได้ ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ค่า Degree of browning และค่าการวัดสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

Treatment	Degree of browning	ค่าการวัดสี			
		L	a	b	E*
I	0.066	50.19	-3.21	24.99	56.16[a]
II	0.056	52.77	-3.22	22.64	57.51[a]
III	0.046	46.92	-2.74	20.76	51.38[a]
IV	0.040	49.07	-3.43	23.14	54.36[a]
V	0.032	50.98	-3.86	21.36	55.41[a]
VI	0.035	49.51	-3.65	20.97	53.89[a]

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับปริมาณ SO_2 ในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งพบว่าปริมาณ SO_2 ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการใช้สารเคมีจะมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ จะมีปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่รองลงมา และผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ ascorbic acid มีปริมาณ SO_2 เหลืออยู่มากที่สุด สำหรับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งพบว่า อยู่ในช่วง 20-24% (wb) และ 25-30% (db) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่า สารเคมีที่ใช้ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ปริมาณ SO_2 และปริมาณความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

Treatment	ปริมาณ SO_2 (ppm) (wb)	ปริมาณความชื้น	
		% wb	% db
I	0.00	22.17	28.49
II	10.19	20.78	26.23
III	ND	21.07	26.69
IV	3.33	23.27	30.33
V	8.05	22.44	28.93
VI	7.33	20.15	25.23

หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่มีข้อมูล

4.3.5 การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสพบว่า สี และความหวาน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 95% แต่ในด้านความกรอบพบว่า treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm จะมีความกรอบมากที่สุด ในด้านความเปรี้ยว treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 1% จะมีความเปรี้ยวมากที่สุด รองลงมาก็คือ treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 0.5% ในด้านลักษณะปรากฏ treatment ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ 200 และ 400 ppm และ treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm จะให้ลักษณะปรากฏที่ดีที่สุด และในด้านการยอมรับพบว่า treatment ที่มีการใช้

$Na_2S_2O_5$ 400 ppm และtreatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm จะมีการยอมรับมากที่สุด และทั้งสอง treatment นี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 95% ผลการวิเคราะห์แสดงดังในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ผลคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

คุณภาพที่ทดสอบ	treatment					
	I	II	III	IV	V	VI
ลักษณะปรากฏ	4.46^{c}	5.54^{b}	6.08^{ab}	7^{a}	7.15^{a}	6.69^{ab}
สี	6.77^{a}	7.08^{a}	6.92^{a}	5.92^{a}	6.23^{a}	5.77^{a}
ความกรอบ	5.46^{b}	5.77^{b}	5.69^{b}	6.15^{ab}	5.69^{b}	7.08^{a}
ความหวาน	6.69^{a}	6.69^{a}	6^{a}	7^{a}	7.08^{a}	7^{a}
ความเปรี้ยว	5.92^{bc}	6.46^{ab}	7.46^{a}	4.85^{c}	5.85^{bc}	6^{bc}
การยอมรับ	5.69^{b}	6.38^{ab}	5.85^{ab}	6.38^{ab}	6.92^{a}	6.85^{a}

* คือ อักษรที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3.6 การวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยการทดสอบการวัดเนื้อสัมผัส

ผลการทดสอบโดยการวัดเนื้อสัมผัสพบว่า treatment ที่ใช้ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm มีค่าแรงกดทะลุสูงสุด (ใน treatment ที่มีการใช้สารเคมี) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.4940 โดยจะมีค่าน้อยกว่า treatment ที่ไม่มีการใช้สารเคมี ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

1.846 สำหรับค่าแรงกดทะลุของ treatment ที่ใช้ ascorbic acid 0.5% จะไม่แตกต่างจาก treatment ที่ใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm โดยมีค่าดังนี้ 1.4183 และ 1.4119 ตามลำดับ และ treatment ที่มีค่าแรงกดทะลุต่ำสุดคือ treatment ที่มีการใช้ $Na_2S_2O_5$ 400 ppm และ treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid 1% โดยมีคะแนนใกล้เคียงกันคือ 1.2947 และ 1.2936 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ด้านเนื้อสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ค่าแรงกดทะลุของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

Treatment	ค่าแรงกดทะลุ (กิโลกรัม)
I	1.8460
II	1.4183
III	1.2936
IV	1.4940
V	1.2947
VI	1.4119

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้าน และเหตุผลที่ว่า $Na_2S_2O_5$ เป็นสารเคมีที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในบางประเทศ และอาจเป็นพิษต่อร่างกาย หากได้รับในปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการศึกษาที่จะใช้สารเคมีอื่นทดแทน และจากผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 200 ppm จะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. อัตราส่วนที่เหมาะสมของสับปะรด:น้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration คือ อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 7:3
2. การเปรียบเทียบคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration กับกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า จากผลการวิเคราะห์กระบวนการที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดคือกระบวนการ Osmotic dehydration
3. การใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 500 ppm สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดีที่สุด นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่า treatment ที่มีการใช้ ascorbic acid เพียงอย่างเดียวอีกด้วย
4. ในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งกระบวนการที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด คือ กระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration โดยใช้อัตราส่วนสับปะรด:น้ำตาล 7:3 และใช้ ascorbic acid 0.5% ร่วมกับ $Na_2S_2O_5$ 500 ppm ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่ดีที่สุด ในแง่ของการเกิดสีน้ำตาลในระดับต่ำ และมีการยอมรับจากผู้ชิมมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองพบว่า การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลนั้น ไม่ได้มีผลมาจากเอนไซม์ PPO เพียงอย่างเดียว การเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดได้โดยไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องซึ่งก็คือ ปฏิกิริยา Maillard โดยจะเกิดขึ้นในระหว่างการอบใน tray dryer ซึ่งสาเหตุหนึ่งของปฏิกิริยานี้ก็เนื่องมาจากเครื่อง tray dryer

นี้ด้วย ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนา tray dryer ให้มีประสิทธิภาพในแง่ของการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ การให้อากาศร้อนกระจายหมุนเวียนอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ หรือใช้เครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพดีกว่า tray dryer

2. เนื่องจากการทำผลิตภัณฑ์แช่อิ่มอบแห้ง ต้องการกำจัดปริมาณความชื้นให้ได้มากที่สุด และไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard ที่การอบนานเกินไป ดังนั้นควรมีการศึกษาถึงผลของเวลาในการอบแห้งที่ดำเนินไปต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง
3. การเก็บตัวอย่างสับปะรดสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี ควรศึกษาวิธีการหรือเทคนิคที่จะสุ่มตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนที่ดีในการนำมาวิเคราะห์ ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์นั้นมีความถูกต้องยิ่งขึ้น
4. ในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น pH-meter เครื่องชั่งหยาบและละเอียด เป็นต้น ควรมีการ calibrate เครื่อง ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
5. ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส ชิ้นตัวอย่างสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งควรจะมีขนาดพอเหมาะกับการทดสอบ เพื่อที่จะให้ผู้ทดสอบรู้สึกถึงรสชาติและเนื้อสัมผัสอย่างแท้จริง ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในเรื่องของการให้คะแนนน้อยที่สุด
6. เนื่องจากในการทดลองมีการใช้น้ำตาลทรายหรือซูโครสในการแช่อิ่ม ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหวานมาก จึงควรมีการศึกษาการใช้ maltodextrin และ lactose ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีความหวานน้อย เพื่อใช้ร่วมกับน้ำตาลทรายในการที่จะลดปริมาณการใช้น้ำตาลทรายให้น้อยลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหวานลดลง ซึ่งก็น่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กัญญารัตน์ เฉลิมฐิติภา และ สุมณฑิพย์ จินต์สุภาวงศ์. 2537. การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช. 2536. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรดและวิธีป้องกัน. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์). 27 : 421-430.

จารุพันธ์ ทองแถม. 2526. สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในไทย. อักษรพิทยา กรุงเทพฯ.

มอก. 919-2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 20หน้า.

วรรณา ตุลยธัญ. 2528. เอนไซมิคบราวนิ่งในผักและผลไม้. วารสารวิทยาศาสตร์. 39 (6) : 272-276.

อุดมเกียรติ พรรธนประเทศ. 2531. ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผักผลไม้สด ดอง และแช่อิ่ม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 30(4) : 239-245.

AOAC. 1987. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. : Association of Official Chemist, Inc.

AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. : Association of Official Chemist, Inc.

Bolin, H.R.,Huxsoll, C.C.,Jackson,R., and Ng,K.C. 1983. Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality. J. of Food Sci. 48:202-205.

Coseteng, M.Y., and Lee, C.Y. 1987. Changes in Apple Polyphenoloxidase and Polyphenol Concentration in Relation to Degree of Browning. J. of Food Sci. 52:985-989.

Duckworth, R.B. 1966. Fruit and Vegetables. Pergamon Press Ltd., London.

Jacques, J.N. 1994. Enzymatic Browning Reaction in Apple and Apple Product. J. Food Sci.and Nutrition. 34(2) : 109-157.

Lane, J.H. and Eynon, L. 1923. J. Soc. Chem. Ind. 42:32.

Langdon, T.T. 1987. Preventing of Browning in Fresh Prepared Potatoes Without the Use of Sulfiting Agents. Food Technology. 64-67.

Lerici,.C.R.,Pinnavaia,G.,Dalla Rosa,M., and Bartolucci,L. 1985. Osmotic Dehydration of Fruit : Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. J. of Food Sci. 50:1217-1219.

Monsalve-Gonzalez,A.,Barbosa-Canovas,V.G.,Cavalieri,P.R.,Mcevily, J.A, and Iyengar,R.1993. J. of Food Sci. 58(4):797-800.

Owen, R.F. 1985. Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York. 488-493.

Ranganna, S. 1977. Manaul of Analysis of Fruit and Vegetable Products. McGraw-Hill Publishing Co. New Delhi. 634 pp.

Wuryani and Pouulter,N. 1994. Osmotic Dehydration of Membrane - coated Pineapple. In : Postharvest Handling of Tropical Fruits. Australia. 367-370.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้เครื่องมือ

ก.1 วิธีการใช้เครื่อง JOUAN CENTRIFUGE

1. เมื่อต้องการใช้เครื่องให้เสียบปลั๊กพร้อมเปิดสวิทช์ C โดยฝาเครื่องยังปิดอยู่ ไม่ต้องเปิด
2. ตั้งค่าอุณหภูมิตามต้องการที่ปุ่ม L. รอจนกระทั่งอุณหภูมิมีค่าตามต้องการ ในการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ใช้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในการวัดระดับการเกิดสีน้ำตาล ใช้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
3. เมื่อจะทำการ Centrifuge ให้กดปุ่ม I จะสังเกตเห็นว่าไฟที่ปุ่ม J ดับ จากนั้นให้หมุนปุ่ม N ไปข้างหน้า ฝาเครื่องจะเปิดออก
4. ใส่ตัวอย่างที่ต้องการ Centrifuge ที่บรรจุในหลอด Centrifuge ลงไป โดยใส่ตัวอย่างเป็นคู่ลงในด้านที่ตรงข้ามกัน หากไม่มีตัวอย่าง ให้ใช้หลอด Centrifugeใส่น้ำกลั่นแทนโดยน้ำหนักรวมในด้านที่เป็นคู่กัน ต้องมีค่าเท่ากัน) พร้อมกับปิดฝา พร้อมกับหมุนปุ่ม N กลับ ฝาเครื่องจะปิดและสังเกตเห็นไฟที่ ปุ่ม J สว่างขึ้น
5. ตั้งเวลาที่ต้องการ Centrifuge ที่ปุ่ม M ตั้งความเร็วรอบที่ปุ่ม K
6. เริ่มทำการ Centrifuge โดยกดที่ปุ่ม D ไฟที่ปุ่ม J จะดับ เมื่อเครื่องเริ่ม หมุน(สังเกตที่หน้าปัดบน)
7. ถ้าต้องการเร่งความเร็วให้ปรับที่ปุ่ม G โดยขณะนั้นปุ่ม H ซึ่งเป็นปุ่มเร่งการ หยุดต้องอยู่ที่ O พอความเร็วรอบที่หน้าปัดอ่านค่าได้ตามต้องการ ให้หมุนปุ่ม G กลับดังเดิม

8. เมื่อ Centrifuge ครบกำหนดตามเวลา จะสังเกตเห็นค่าความเร็วรอบค่อยๆ ลดลง รอจนกระทั่งลดลงจนเป็น 0 ไฟที่ปุ่ม J จะสว่างอีกครั้ง (แต่ถ้าต้องการให้ค่าความเร็วรอบลดลงเร็ว ๆให้หมุนปุ่ม H ซึ่งเป็นปุ่มเร่งการหมุนไปที่เลข 7 พร้อมกับกดสวิทช์ F
9. พอจะเอาตัวอย่างออก ให้กดปุ่ม I เอาไว้(ไฟที่ปุ่ม J จะดับ)หมุนปุ่ม N แล้วฝาเครื่องจะเปิดออก
10. เมื่อเอาตัวอย่างออกแล้ว ปิดฝาในลักษณะเดิม กดปุ่ม C เมื่อปิดเครื่อง ถอดปลั๊กออก
11. ทำความสะอาดเครื่องเมื่อใช้แล้วพร้อมเซ็นต์ ชื่อ วัน เวลา หลังจากใช้เครื่องเสร็จแล้ว

ก.2 วิธีการใช้เครื่อง pH-METER (SUNTEX SP 701)

1. กด Power เปิดเครื่อง บนหน้าปัดจะปรากฏค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 โดยมี Electrode จุ่มอยู่ในสารละลายดังกล่าวก่อนใช้ควรเปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อนเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมงขึ้นไป
2. Calibrate โดยล้าง Electrode ด้วยน้ำกลั่นแล้วเช็ดให้แห้ง แล้วใช้บัฟเฟอร์ pH 7 Calibrate โดยจุ่ม Electrode ลงในสารละลายดังกล่าว แล้วรอจนมีค่าคงที่ ปรับที่ปุ่ม CALIB. ให้pH เป็น 7
3. ล้าง Electrode ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเช็ดให้แห้ง แล้วจุ่มใน pH 4 buffer รอจนได้ค่าคงที่ จากนั้นปรับปุ่ม Slope จน pH เป็น 4.0
4. ล้าง Electrode ด้วยน้ำกลั่นแล้วเช็ดให้แห้ง แล้วจุ่มในสารละลายที่ต้องการวัด รอจน pH คงที่ แล้วจึงอ่านค่าของ pH ที่ปรากฏ
5. ล้าง Electrode ด้วยน้ำกลั่น แล้วเช็ดให้แห้ง เก็บ Electrode โดยจุ่มในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 เหมือนเดิม

ก.3 วิธีการใช้เครื่อง SPECTROPHOTOMETER (CECIL 292)

1. เสียบปลั๊กแล้วเปิดเครื่องโดยการเปิดสวิทซ์ POWER ที่อยู่ด้านหลัง
2. เลือกความยาวคลื่นที่ต้องการใช้โดยปรับปุ่ม W
3. Set Zero ให้เป็น 0.000 ที่ปุ่ม T จากนั้นจึง Warm เครื่องทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
4. นำ Cell มาใส่สารละลาย Blank แล้วใส่ในช่อง K โดย Cell ที่ใช้แต่ละครั้งควรเป็นอันเดียวกัน สำหรับสารลลาย Blank นั้น
   สำหรับการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO นั้นใช้สารละลาย Buffer ที่เตรียม
   สำหรับการวัดระดับการเกิดสีน้ำตาล นั้นใช้น้ำกลั่น
5. หมุนปุ่ม Z ไปที่ MEASURE แล้วปรับปุ่ม A ให้ค่าออกมาเป็น 0.000
6. ปรับปุ่ม Z ให้กลับไปที่ Set Zero แล้วนำ Cell ออกจากช่อง K
7. ใส่ Cell ที่บรรจุ Sample ลงในช่อง K แล้วปรับปุ่ม Z มาทางคำว่า Measure
8. อ่านค่าจากหน้าปัดจะได้ค่าที่ต้องการ จากนั้นจึงปรับปุ่ม Z ให้กลับไปที่ Set Zero แล้วจึงนำ Cell ออกจากช่อง K
9. ทำความสะอาด Cell ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรด โดยวิธีของ AOAC (1978)

เพื่อตรวจหาปริมาณกรด (% titratable acidety as citric) ที่มีอยู่ในสับปะรด โดยการไตเตรต กับ สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. สารเคมีที่ใช้

1.1 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

1.2 ฟีนอฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เข้มข้น 1 เปอร์เซนต์ ในเอทิลอัลกอฮอล์

2. วิธีการเตรียมตัวอย่าง

2.1 ตัวอย่างสับปะรดสดใช้วิธีการคั้นน้ำ

2.2 ตัวอย่างสับปะรดแช่อิ่ม ใช้วิธีการปั่นตัวอย่างในเครื่องผสม(Blender) ให้ละเอียด จากนั้นนำมาคั้นน้ำในผ้ากรองละเอียด หรือ ผ้าลินินที่สะอาด และแห้งสนิท

2.3 ตัวอย่างสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ใช้วิธีทำการเจือจาง โดยทำการเจือจางในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยชั่งน้ำหนัก ตัวอย่าง และน่าในอัตราส่วนดังกล่าวลงในบีกเกอร์ โดยน้ำหนัก แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 0.5-1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นในเครื่องปั่นผสม แล้วนำมาคั้นน้ำเช่น ข้อ 2.2

3. วิธีการวิเคราะห์

3.1 ปิเปตน้ำสับปะรดตัวอย่าง ที่ได้จากการคั้นสับปะรดมา 25 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้น เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

3.2 หยดฟีนอฟทาลีน 2-3 หยด

3.3 ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ขณะไตเตรตให้เขย่าขวดรูปชมพู่ตลอดเวลา จนถึงจุดยุติ (End point) สีจะเปลี่ยนจากไม่มี

สีเป็นสีชมพูอ่อน

3.4 คำนวณปริมาณกรดในตัวอย่างในรูปของกรดซิตริก (Citric Acid)

4. วิธีการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซนต์กรดในตัวอย่าง} = \frac{192*N*V*100}{1000*X}$$

เมื่อ N = Normalityของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์(0.1N)

V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไตเตรต เป็นมิลลิตร

X = ปริมาตรของน้ำสับปะรดตัวอย่างที่ใช้

192 = เป็นค่าน้ำหนักโมเลกุลของ กรดซิตริก

ข.2 การสกัดและการวิเคราะห์เอนไซม์ POLYPHENOLOXIDASE (PPO)
ดัดแปลงจาก COSETENG และ LEE (1987)

ข.2.1 การสกัดเอนไซม์ POLYPHENOLOXIDASE (EXTRAVTION OF PPO)

1. สารเคมีที่ใช้

1.1 0.2 M Phosphate buffer pH 7.2

1.1.1 0.2 M $Na_2HPO_4.7H_2O$

1.1.2 0.2 M $NaH_2PO_4.H_2O$

1.2 0.005 M Cysteinehydrochloride

1.3 1 % KCl

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 ชั่งสับปะรดมา 50.0 กรัม และเติม 100 ml ของ iced-

cold 0.2 M phospahte buffer ที่ประกอบด้วย 0.005 M cysteinehydrochloride pH 7.2

2.2 นำสับปะรดไปปั่นในBlenderจนละเอียด

2.3 Centrifuge ต่อด้วยความเร็วรอบ 5600 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที (4 °C)

2.4 หลังการCentrifuge จะได้ส่วนใส (Supernatant) และส่วนตะกอน (Pellet) จากนั้นจึงนำส่วนใสที่ได้มารวมกันและเก็บไว้ที่ 4 °C ส่วนตะกอนที่ได้ จะถูกนำมาสกัดอีกครั้งด้วย 1% KCl 70 ml

2.5 นำส่วนตะกอนที่มี 1% KCl ได้จากข้อ 2.4 มาทำการ Stir บน Magnetic stir plate 30 นาที 4 °C จากนั้นเมื่อถึงเวลาที่กำหนดจึงนำไปทำการ Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 5600 รอบ/นาที 20 นาที 4 °C ต่อไป

2.6 นำส่วนใส (Supernatant) ที่ได้จากการ Centrifugeในข้อ 2.5 มารวมกับส่วนใสที่ได้จากข้อ 2.4 ซึ่งเก็บไว้ที่ 4 °C แล้ว made up Volume ด้วย Phosphate buffer จนมีปริมาตร 250 ml ใน Volumetric Flask จากนั้นก็จะได้ Crude Enzyme Polyphenoloxidase (PPO) ซึ่งจะถูกนำวิเคราะห์หา actvity ของเอนไซม์ Polyphenoloxidase ต่อไป

ข.2.2 การวิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์ POLYPHENOLOXIDASE (ASSAY of PPO ACTIVITY)

1. สารเคมีที่ใช้

1.1 0.01 M Sodium Acetate-Acetic buffer pH 5.0

1.1.1 0.01 M Acetic acid

1.1.2 0.01 M Sodium Acetate

1.2 0.5 M Catechol

1.3 0.2 M Phosphate buffer pH 7.2 ซึ่งประกอบด้วย 0.005 M Cysteinhydrochloride

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 สารละลาย Blank เตรียมโดย เติม 0.01 M Sodium acetate-acetic acid buffer pH 5.0 จำนวน 2.6 ml ลงในหลอดทดลอง จากนั้นจึงเติม 0.5 M Catechol จำนวน 0.3 ml ตามลงไป และจึงเติม 0.1 ml. phosphate buffer ที่เตรียม จะได้สารละลาย Blank ปั่นผสมสารละลายให้เข้ากัน

2.2 สารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ เติม 0.01 M Sodium acetate-acetic acid buffer pH 5.0 จำนวน 2.6 ml ลงในหลอดทดลอง จากนั้นจึงเติม 0.5 M Catechol จำนวน 0.3 ml ตามลงไป จากนั้นจึงเติมสารละลายเอนไซม์สกัด 0.1 ml แล้วปั่นหลอดให้สารละลายผสมเข้ากัน รีบทำการวัดกิจกรรมทันที

2.3 set ค่าการอ่าน absorbance ที่ความยาวคลื่น 420 nm วัดค่า absorbance ด้วยสารละลาย Blank แล้วปรับค่าให้เป็น 0.000

2.4 นำสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ ในข้อ 2.2 นำมาวัดค่าทำการวัดค่า absorbance ของ crude enzyme ที่ความยาวคลื่น 420 nm ทันทีโดยใช้เครื่อง spectophotometer

2.5 บันทึกค่า absorbance ที่อ่านได้ทันที แล้วทำการวัดค่า absorbance ที่เปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 30 วินาที จนถึง 3 นาที หรือได้ค่าที่คงที่

2.6 ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

2.7 ทำการวิเคราะห์ activity ที่ได้ทั้ง 3 ครั้งของ Crude Enzyme ที่สกัดได้ โดย 1 Unit ของเอนไซม์ถูกให้คำจำกัดความดังนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงค่า absorbance 0.001 ต่อนาที ต่อมิลลิลิตรของ enzyme extract (one unit of enzyme activity was defined as a change in absorbance of 0.001 per min per ml enzyme extract) และหาค่าเฉลี่ยของค่า Activity ที่วิเคราะห์ได้

ข.3 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ น้ำตาลรีดิวซิง (REDUCING SUGAR) โดยวิธีของ LANE-EYNON ประยุกต์จาก AOAC 1975 และ 1990

1. สารเคมีที่ใช้

1.1 Fehling A Copper Sulphate ($CuSO_4.5H_2O$) 34.639 กรัม ทำเป็น 500 มล. ด้วยน้ำกลั่นตั้งทิ้งไว้ 2 วัน

1.2 Fehling B Potassium sodium tartrate($NaKC_4H_4O_6.4H_2O$) 173 กรัม NaOH 50 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 500 มล. ตั้งทิ้งไว้ 2 วัน

1.3 Standard invert sugar solution อบ pure sucrose ที่ 100c 1 ช.ม. ชั่งละเอียด 0.475 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มล. ใส่ 1:1 (W/W) HCl 3.5 มล.เข้า oven ที่ 80 °C 15 นาที ทำให้เย็นปรับเป็นกรดเล็กน้อยด้วย 20% NaOH 4 มล. ปรับเป็น 200 มล. ด้วยน้ำกลั่น

2. วิธีการไตเตรต

2.1 Standardization of the Fehling's solution

ปิเปต Fehling A และ B อย่างละ 10 มล. เติม Standard invert sugar ประมาณ 15 มล.นำขึ้นตั้งไฟ (เดือดภายใน 3 นาที) ให้เดือด 15 วินาที จึงไตเตรตต่ออย่างรวดเร็ว จนสีน้ำเงินจางลง ใส่ Methylene blue 3 หยด ไตเตรตต่อจนถึง end point เติมประมาณ 0.5-1 มล.นำขึ้นตั้งไฟให้เดือด 2 นาที ใส่ Methylene blue 3 หยด แล้วไตเตรตต่อจนถึง end point ภายในเวลา 1 นาที จะได้สารละลายสีส้มสด เหมือนกับสารละลายก่อนเติม indicator

2.2 การไตเตรตน้ำตาลตัวอย่าง

ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1

3. การคำนวณ

จากสมการ จะได้ค่า Factor ที่ได้จากสารละลายมาตรฐาน 20 มล. (X) ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fehling A+B จะได้สูตร

$$\text{Factor} = \frac{360.312 * X * 0.475}{342.296 * 200}$$

ในที่นี้ X มีค่าเท่ากับ 20 ดังนั้นจึงได้ค่า Facter เท่ากับ 0.05

การหา % Sugar

ใช้สารละลายตัวอย่างทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fehling A+B = y ml.

$$\% \text{ Sugar} = \frac{\text{Factor} * 625}{\text{นน.ตัวอย่าง} * \text{ปริมาตร y ml.}}$$

ข.4 การวัดค่าระดับการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล DEGREE OF BROWNING โดยวิธีของ COSETENG และ LEE (1987)

1. สารเคมีที่ใช้

95 % ethanol

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 ชั่งสับปะรด 50.0 g ใส่ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 100 ml

2.2 จากนั้นจึงนำไป homogenized ใน blender 1 นาที แล้วเทใส่บีกเกอร์และปิดด้วย Aluminium foil ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมงในที่มืด

2.3 เมื่อถึงเวลาที่กำหนด นำไป Centrifuge ที่ความเร็ว 7800 รอบต่อนาที 10 นาที 25 องศาเซลเซียส

2.4 ดูดสารละลายส่วนที่ใส (supernatant) 10 มล. ใส่ลงในหลอด Centrifuge แล้วเติม 95% ethanol 10 มล.ทำการcentrifuge อีกครั้งที่ความเร็ว 7800 รอบต่อนาที 15 นาที (25 °C)

2.5 นำส่วนใสที่ได้มาวัด degree of browning โดยการวัดค่า absorbance ที่ 440 nm โดยใช้เครื่อง Spectophotometer (CECIL 292)

ข.5 การวิเคราะห์หาปริมาณ สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

โดยดัดแปลงจาก RIPPER TITRATION METHOD (RANGANNA ,1977)

ข.5.1 การหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์อิสระ (Free Sulphur Dioxide)

1. สารเคมีที่ใช้

1.1 H_2SO_4 1:3 (W/W)

1.2 Sodium Carbonate

1.3 0.02 N standard iodine solution

1.4 Formaldehyde 36-40 %

1.5 Starch Solution Indicator 1 %

2. วิธีการเตรียมตัวอย่าง

2.1 ถ้าตัวอย่างเป็นสับปะรดสด หรือสับปะรดแช่อิ่ม ให้นำตัวอย่างปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม จากนั้นจึงชั่งตัวอย่างตามน้ำหนักประมาณ 5 กรัม

2.2 ถ้าตัวอย่างเป็นสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ให้ชั่งตัวอย่างปริมาณเท่ากับน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ จากนั้นนำไปปั่นจนละเอียดในเครื่องปั่นผสมแล้วชั่งตัวอย่างปริมาณ 5 กรัม โดยคำนวณปริมาณตัวอย่างเป็น DILUTION

3. วิธีการวิเคราะห์

3.1 ชั่งสับปะรดมา 25 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ และเติมน้ำกลั่นลงไปอีก 25 มิลลิลิตร จากนั้นจึงใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2 เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 1:3 (W/W) จำนวน 5 มิลลิลิตรลงไป จากนั้นจึงเติม Sodium Carbonate 0.5 กรัม

3.3 เติมน้ำแป้ง 1 % จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตทันทีด้วย Standard iodine solution 0.02 N จนกระทั่งสีน้ำเงินปรากฏเป็นเวลา 15 วินาที

3.4 จดปริมาตรของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนที่ใช้ไป (a)

3.5 หา titre เนื่องจากไอโอดีนได้รีดิวซ์สารตัวอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจาก SO_2 ด้วยดังนั้น จึงชั่งสับปะรดมาอีก 25 กรัม แล้วทำตามข้อ 3.1

3.6 เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 1:3 ปริมาณ 1 ml. และเติม 10 ml. ของ formaldehyde 36-40 % จากนั้นจึงปล่อยทิ้งไว้ 10 นาที

3.7 เมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้เติมน้ำแป้ง 1 % แล้วไตเตรตทันทีด้วยสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.02 N จนกระทั่งสีน้ำเงินปรากฏเป็นเวลา 15 วินาที เช่นกัน

3.8 จดปริมาตรของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนที่ใช้ไป (b)

4. วิธีการคำนวณ

1 มิลลิลิตร ของ 0.02 N iodine solution = 0.64 mg of SO_2

$$SO_2 \text{ in ppm} = \frac{\text{Titre}(a-b)*0.64*1000}{\text{Wt. of Sample}}$$

ข.5.2 การหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด (TOTAL SULPHUR DIOXIDE)

1. สารเคมีที่ใช้

1.1 5 N NaOH

1.2 5 N HCl

1.3 1 % starch solution

1.4 0.02 N iodine solution

1.5 formaldehyde 36-40 %

2. วิธีการเตรียมตัวอย่าง

เช่นเดียวกันกับการหาซัลไฟไดออกไซด์อิสระคือ

2.1 ถ้าตัวอย่างเป็นสับปะรดสด หรือสับปะรดแช่อิ่ม ให้นำตัวอย่างปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม จากนั้นจึงชั่งตัวอย่างตามน้ำหนักประมาณ 5 กรัม

2.2 ถ้าตัวอย่างเป็นสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ให้ชั่งตัวอย่างปริมาณเท่ากับน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ จากนั้นนำไปปั่นจนละเอียดในเครื่องปั่นผสมแล้วชั่งตัวอย่างปริมาณ 5 กรัม โดยคำนวณปริมาณตัวอย่างเป็น DILUTION

3. วิธีการวิเคราะห์

3.1 ทำวิธีเดียวกับ การหาซัลเฟอร์ไดออกไซด์อิสระ ข้อ 3.1 คือ ชั่งสับปะรดมา 25 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ และเติมน้ำกลั่นลงไปอีก 25 มิลลิลิตร จากนั้นจึงใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2 เติม 5 มิลลิลิตร ของ 5 N NaOH

3.3 เขย่าเบา ๆให้ทั่วกันสักครู่ แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

3.4 เติม 5 N HCl จำนวน 7 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.5 เติม 1 % Starch จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตทันทีกับ 0.02 N iodine จนเกิดสีน้ำเงินปรากฏเป็นเวลา 15 วินาที

3.6 จดปริมาตรของไอโอดีนที่ใช้ไป (c)

3.7 ทำวิธีเดียวกับข้อ 3.1-3.4 แล้วจากนั้นจึงเติม formaldehyde จำนวน 10 ml. เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

3.8 เติม 1 % starch solution จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตทันทีด้วย 0.02 N iodine solution จนได้สีน้ำเงินปรากฏคงทน 15 วินาที

3.9 บันทึกปริมาตรของไอโอดีนที่ใช้ไป (d)

4. วิธีการคำนวณ

1 มิลลิลิตร ของ 0.02 N iodine = 0.64 mg of SO_2

$$SO_2 \text{ in ppm} = \frac{\text{Titre}(c-d)*0.64*1000}{\text{Wt. of Sample}}$$

ข.5.3 การหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด (COMBINED SULPHUR)

ใช้การคำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Combined } SO_2 \text{ in ppm} = \text{Total } SO_2 - \text{Free } SO_2$$

ข.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด (TOTAL SOLIDS) (AOAC,1995)

ชั่งตัวอย่างเป็นปริมาณ 5 กรัม ใส่ใน aluminiium can (ซึ่งอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) แล้วใช้ วิธีการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดฝาแล้วทำให้เย็นใน dessicator ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด แล้วนำมาอบต่อจนมีน้ำหนักคงที่ไม่แตกต่างกันเกิน 2 mg

$$\% \text{ ความชื้นคิดเป็นน้ำหนักเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่กำจัดออกไป} * 100}{\text{น้ำหนักเปียกของตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

$$\% \text{ ความชื้นคิดเป็นน้ำหนักแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นน้ำหนักเปียก} * 100}{(1-\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นน้ำหนักเปียก})}$$

ข.7 การหาแรงกดทะลุโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสแบบ KMITL

วางชิ้นตัวอย่างบนแท่นที่มีรูกลมตรงกลางเพื่อให้หัวกดได้กดทะลุผ่านลงไป โดยหัวกดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความเร็ว 10 เซนติเมตร/นาที เมื่อเตรียมตัวอย่างพร้อมแล้ว ก็กด ENTER ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ จะปรากฏเส้นกราฟแสดงแรงกดทะลุของชิ้นสับปะรด

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารเคมี

ค.1 การเตรียมสารละลายกรด

1.1 สารละลาย 5 N กรดไฮโดรคลอริค (HCl)

1. เตรียมจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 36.5% ความหนาแน่น 1.187
2. กรดไฮโดรคลอริคมีน้ำหนักสมมูล 36.5
3. คำนวณปริมาณกรดที่ต้องใช้ในการเตรียม 1000 มิลลิลิตร

กรดไฮโดรคลอริค 1 N มีปริมาณ		36.5	กรัม
กรดไฮโดรคลอริค 5 N มีปริมาณ	=	36.5*5/1	กรัม
	=	182.5	กรัม

ความหนาแน่น = มวล/ปริมาตร

ดังนั้นกรดไฮโดรคลอริค 182.5 กรัมมีปริมาตร = 182.5/1.187 = 153.75 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นกรดที่ใช้คือ 36.5 %

ดังนั้นต้องใช้กรดไฮโดรคลอริคทั้งหมดสุทธิ	=	153.75*100/36.5	
	=	421.23	มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลายโดยใส่กรดลงในน้ำประมาณ 500 มิลลิลิตร อย่างระมัดระวังในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร แล้วจึงใส่น้ำอีก จนมีปริมาตรทั้งหมดประมาณ 900 มิลลิตร จากนั้นจึงใส่ลงใน volumetric flask 1000 มิลลิลิตร รอจนสารละลายเย็น จึงทำการปรับปริมาตร ซึ่งทุกขั้นตอนกระทำใน ตู้ดูดควัน

1.2 การเตรียมสารละลาย 1 N กรดซัลฟูริค (H_2SO_4)

1. เตรียมจากสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้น 96.9 % ความหนาแน่น 1.840
2. กรดซัลฟูริคมีน้ำหนักสมมูล 98.09
3. คำนวณปริมาณกรดที่ต้องใช้ในการเตรียม 100 มิลลิลิตร

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีกรดอยู่เป็นปริมาณ 1 โมล
สารละลาย 100 มิลลิลิตร มีกรดอยู่เป็นปริมาณ= 0.1 โมล

กรดซัลฟูริค 1 N มีปริมาณ 98.09 กรัม
กรดซัลฟูริค 0.1 N มีปริมาณ = 98.09* 0.1/1 กรัม
= 9.808 กรัม

ความหนาแน่น = มวล/ปริมาตร

ดังนั้นกรดซัลฟูริค 9.808 กรัมมีปริมาตร = 9.808/1.840 = 5.330 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นกรดที่ใช้คือ 96.9 %

ดังนั้นต้องใช้กรดซัลฟูริคทั้งหมดสุทธิ = 5.330 *100/96.9

= 5.5 มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลายโดยใส่กรดลงในน้ำประมาณ 50 มิลลิลิตร อย่างระมัดระวังในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร แล้วจึงใส่น้ำอีกจนมีปริมาตรทั้งหมดประมาณ 90 มิลลิตร จากนั้นจึงใส่ลงใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร รอจนสารละลายเย็น จึงทำการปรับปริมาตร ซึ่งทุกขั้นตอนกระทำใน ตู้ดูดควัน

1.3 การเตรียมละลาย 1:3 (W/W) กรดซัลฟูริค (H_2SO_4)

1. เตรียมจากสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้น 96.9 % ความหนาแน่น 1.840
2. กรดซัลฟูริคมีน้ำหนักสมมูล 98.09
3. คำนวณปริมาณกรดที่ต้องใช้ในการเตรียม 500 มิลลิลิตร

น้ำกลั่นปริมาณ 3 กรัม จะต้องใช้ กรดซัลฟูริค 1 กรัม

น้ำกลั่นปริมาณ 500 กรัม จะต้องใช้ กรดซัลฟูริค = 500/3 = 166.67 g

ความหนาแน่น = มวล/ปริมาตร

ดังนั้นกรดซัลฟูริค 166.67 กรัมมีปริมาตร = 166.670/1.840 = 90.58 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นกรดที่ใช้คือ 96.9 %

ดังนั้นต้องใช้กรดซัลฟูริคทั้งหมดสุทธิ = 90.58 *100/96.9

= 93.48 มิลลิลิตร

ดังนั้นในการเตรียมสารละลาย กรดซัลฟูริค 1:3 (W/W) 500 ml. ต้องใช้สารละลายกรดซัลฟูริคความเข้มข้น 96.9% ความหนาแน่น 1.840 Kg/L จำนวน 93.48 มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลายโดยใส่กรดลงในน้ำกลั่นปริมาณ 200.0 กรัม อย่างระมัดระวังในบีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร แล้วจึงใส่น้ำกลั่นอีกปริมาณทั้งหมดปริมาณ 150.0 กรัม จากนั้นจึงใส่สารละลาย ลงในภาชนะที่ใช้เก็บสารเคมีจากนั้นจึงใช้สารละลายปริมาณ 50.0 กรัม ล้างบีกเกอร์ที่ใช้เตรียมสารแล้วเทลงในภาชนะที่เตรียม 3 ครั้ง จนครบ 150 กรัม ซึ่งทุกขั้นตอนกระทำใน ตู้ดูดควัน

1.4 การเตรียมสารละลาย 0.01 M กรดอะซิติก (CH_3COOH)

1. เตรียมจากสารละลายกรดอะซิติคเข้มข้น 99.8 %
   ความหนาแน่น 1.050
2. กรดอะซิติคมีมวลโมเลกุล 60.05
3. คำนวณปริมาณกรดที่ต้องใช้ในการเตรียม 1000 มิลลิลิตร

กรดอะซิติค 1 โมล มีปริมาณ 60.05 กรัม

กรดอะซิติค 0.01โมล มีปริมาณ = 60.05*0.01/1 กรัม

= 0.6005 กรัม

ความหนาแน่น = มวล/ปริมาตร

ดังนั้นกรดอะซิติค 0.6005 กรัมมีปริมาตร = 0.6005/1.05 = 0.5719 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นกรดที่ใช้คือ 99.8 %

ดังนั้นต้องใช้กรดอะซิติคทั้งหมดสุทธิ = 0.5719*100/99.8

= 0.5730 มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลายโดยใส่กรดลงในน้ำประมาณ 500 มิลลิลิตร อย่างระมัดระวังในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร แล้วจึงใส่น้ำอีก จนมีปริมาตรทั้งหมดประมาณ 900 มิลลิตร จากนั้นจึงใส่ลงใน volumetric flask 1000 มิลลิลิตร รอจนสารละลายเย็น จึงทำการปรับปริมาตร ซึ่งทุกขั้นตอนกระทำใน ตู้ดูดควัน

1.5 การเตรียมสารละลาย 0.2 M NaH_2PO_4

1. เตรียมสารละลายจาก สาร $NaH_2PO_4.H_2O$
   ซึ่งมีมวลโมเลกุล = 137.99248 g/mol
2. คำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ทั้งหมด

NaH_2PO_4 119.99 กรัม ได้มาจาก $NaH_2PO_4.H_2O$ 137.99 กรัม

NaH_2PO_4 0.2 * 119.99 กรัม ได้มาจาก $NaH_2PO_4.H_2O$ 137.99 * 0.2 กรัม

= 27.5985 กรัม

ชั่งสารเคมีอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

3. เตรียมสารละลาย ปริมาณ 500 มิลลิลิตร
4. เตรียมสารละลายโดยละลายสารเคมี ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น 150 ml. จากนั้น เทสารละลายลงใน Volumetric flask 500 ml. ใช้น้ำกลั่น อีกประมาณ 50 ml. ล้างบีกเกอร์แล้วเทลงใน Volummetric flask อีก 3 ครั้ง จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml.

ค.2 การเตรียมสารละลายต่าง

2.1 การเตรียมสารละลาย 0.01 M โซเดียมอะซีเตต (CH_3COONa)

1.1 การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้

โซเดียมอะซีเตตมีมวลโมเลกุล 136.08 กรัม

เตรียมสารละลาย 1000 มิลลิลิตร ต้องใช้สาร 0.01 โมล

ดังนั้นต้องใช้ โซเดียมอะซีเตตทั้งหมด = 0.01*136.08 = 1.3608 กรัมชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

1.2 เตรียมสารละลายโดยละลายสารเคมี ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น 150 ml. จากนั้น เทสารละลายลงใน Volumetric flask 1000 ml.ใช้น้ำกลั่น อีกประมาณ 50 ml. ล้างบีกเกอร์แล้วเทลงใน Volumetric flask อีก 3 ครั้ง จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml.

2.2 การเตรียมสารละลาย 0.2 M Na_2HPO_4

1. เตรียมสารละลายจาก สาร $Na_2HPO_4.7H_2O$ ซึ่งมีมวลโมเลกุล = 268.07 g/mol
2. คำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ทั้งหมด

Na_2HPO_4 234.07 กรัม ได้มาจาก $Na_2HPO_4.7H_2O$ 268.07 กรัม

Na_2HPO_4 0.2 * 234.07 กรัม ได้มาจาก $Na_2HPO_4.7H_2O$ 268.07 * 0.2 กรัม

= 53.614 กรัม

ชั่งสารเคมีอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

3. เตรียมสารละลาย ปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลายโดยละลายสารเคมีลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น 150 ml.จากนั้น เทสารละลายลงใน Volumetric flask 1000 ml.ใช้น้ำกลั่น อีกประมาณ 50 ml. ล้างบีกเกอร์แล้วเทลงใน Volumetric flask อีก 3 ครั้ง จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml.

ค.3 การเตรียมสารละลาย CATECHOL 0.5 N in ALCOHOL

1. คำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้

   Catechol มีมวลโมเลกุล 110.1 กรัม

   เตรียมสารละลาย 100 มิลลิลิตร ดังนั้นต้องการสาร เพียง 0.05 โมล

   ดังนั้นต้องใช้ Catechol ทั้งหมด = 0.05 * 110.1 = 5.505 กรัม

   ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. เตรียมสารละลายโดยละลายสารเคมีลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร ด้วยอัลกอฮอล์ 50 ml.จากนั้นเทสารละลายลงใน Volumetric flask 100 ml.ใช้อัลกอฮอล์อีกประมาณ 10 ml ล้างบีกเกอร์ แล้วเทลงใน Volumetric flask อีก 2 ครั้ง จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml.
3. เทสารละลายที่เตรียมได้เก็บรักษาไว้ในขวดสีชาที่สะอาด โดยไม่ควรเก็บไว้นาน หากว่าสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีดำผสมอยู่หมายถึงว่า สารละลายไม่อาจใช้งานได้อีกแล้ว และต้องไม่ให้สารละลายสัมผัสกับอากาศ ดังนั้นจึงควรเตรียมเพียงเพื่อใช้หมด ในระยะเวลาอันสั้นเท่านั้น

ค.4 การเตรียมสารละลาย BUFFER

4.1 การเตรียมสารละลาย

0.01 M SODIUM ACETATE-ACETIC BUFFER pH 5.0

1. เตรียมการใช้เครื่องวัด pH-METER
2. ใส่สารละลายเกลือของกรดอ่อน คือ โซเดียมอะซีเตต ความเข้มข้น 0.01 N ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร วัดพีเอช จะได้พีเอชที่เป็นเบส จากนั้นค่อย ๆ ปรับพีเอชให้ได้ ตามที่ต้องการด้วย สารละลายกรดอะซิติคความเข้มข้น 0.01 N

4.2 การเตรียมสารละลาย

0.005 M CYSTEINHYDROCHORIDE 0.2 M PHOSPHATE BUFFER pH 7.2

1. เตรียมการใช้เครื่องวัด pH-METER
2. คำนวณปริมาณ Cysteinhydrochoride ที่ต้องใช้ทั้งหมด
   มวลโมเลกุล Cysteinhydrochoride คือ 175.64 g/mol
   ดังนั้นต้องใช้ Cysteinhydrochoride ทั้งหมด = 175.64*0.005= 0.8782 g
3. ใส่สารละลายเกลือของกรดอ่อน คือไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.2 N ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร วัดพีเอช จะได้พีเอชที่เป็นเบส จากนั้น ค่อย ๆ ปรับพีเอชให้ได้ ตามที่ต้องการด้วย สารละลายกรดอ่อน โซเดียมไดไฮโดรเจน-ฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.2 N
4. เตรียมสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

5. ใส่สารละลาย 0.2 N ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่เตรียมได้ในข้อ 3 ปริมาณประมาณ 500 ml. ลงในบีกเกอร์ 1000 ml. จากนั้นใส่ Cysteinhydrochoride ที่ชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่งลงไป พีเอชจะลดลงจาก 7.2 เล็กน้อย ให้ปรับด้วยเกลือของกรดอ่อนจนมีค่าเป็น 7.2 เช่นเดิม จากนั้นเทใส่ขวด Volumetric flask 1000 ml. ปรับด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้ในข้อ 3 จนมีปริมาตร 1000 ml.

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

ชื่อผู้ชิม_____ เพศ_____ อายุ_____

วันที่_____ ความถี่ในการบริโภคสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง_____

ปกติท่านชอบผลไม้แช่อิ่มอบแห้งหรือไม่_____

กรุณาชิมสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่เสริฟตามหมายเลขที่จัดเรียงไว้ตามลำดับ ให้ชิมเปรียบเทียบคุณภาพด้านต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ของแต่ละตัวอย่าง โดยกำหนดคะแนนดังต่อไปนี้

9 = มากที่สุด	6 = เล็กน้อย	3 = ไม่-ปานกลาง
8 = มาก	5 = เฉย ๆ	2 = ไม่-มาก
7 = ปานกลาง	4 = ไม่-เล็กน้อย	1 = ไม่-มากที่สุด

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	สี	ความกรอบ	ความหวาน	ความเปรี้ยว	การยอมรับ

ข้อเสนอแนะ_____

หมายเหตุ การให้คะแนน ลักษณะปรากฏ และการยอมรับมากที่สุด หมายถึง ดีที่สุด

สี : สีอ่อน (1) สีเข้ม (9)

ภาคผนวก จ
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จ.1 การวิเคราะห์คะแนนทางประสาทสัมผัสของการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของสับปะรดต่อน้ำตาล ในกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic Dehydration

จ.1.1 การวิเคราะห์คะแนนการทดสอบประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งโดยกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic Dehydration

จ.1.1.1 การวิเคราะห์คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 4 treatment คือ

A = สัดส่วนสับปะรด : น้ำตาล เป็น 8:2

B = สัดส่วนสับปะรด : น้ำตาล เป็น 7:3

C = สัดส่วนสับปะรด : น้ำตาล เป็น 6:4

D = สัดส่วนสับปะรด : น้ำตาล เป็น 1:1

จ.1.1.1.1 ลักษณะปรากฏ

ตารางที่ จ.1.1.1 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	3	35.8	11.93	3.55	2.96
Judges	9	35.9	3.99		
Error	27	90.7	3.36		
Total	39	162.4			

ถ้า $F_{cal} > F_{0.05}$ แสดงว่าตัวแปรที่ใช้ทดสอบมีผลต่อ treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ treatment มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 4 มีความแตดต่างกันในด้านลักษณะปรากฏอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

C	D	B	A
6.9 [a]	6.9 [a]	6.4 [a]	4.6 [b]

จ.1.1.1.2 สี

ตารางที่ จ.1.1.1.2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	3	16.6	5.53	1.19	2.96
Judges	9	20.4	2.27		
Error	27	125.4	4.64		
Total	39	162.4			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 4 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment โดยวิธี Duncan's new multuple range test

C	B	A	D
7.2	6.3	5.8	5.5

จ.1.1.1.3 ความกรอบ

ตารางที่ จ.1.1.1.3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความกรอบของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	3	15.47	5.16	1.77	2.96
Judges	9	66.52	7.39		
Error	27	78.78	2.92		
Total	39	160.77			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 4 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

A	B	D	C
5.7 ^{a}	5.2 ^{ab}	4.8 ^{ab}	4.0 ^{b}

จ.1.1.1.4 ความหวาน

ตารางที่ จ.1.1.1.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความหวานของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	3	18.6	6.2	4.46	2.96
Judges	9	32.4			
Error	27	37.4	1.39		
Total	39	88.4			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 4 มีความแตกต่างในด้านความหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหวานของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

C	D	B	A
7.4 ^{a}	7.1 ^{a}	6.7 ^{a}	5.6 ^{b}

จ.1.1.1.5 ความเปรี้ยว

ตารางที่ จ.1.1.1.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความเปรี้ยวของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	3	37.47	12.49	5.16	2.96
Judges	9	72.22	8.02		
Error	27	65.28	2.42		
Total	39	174.97			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 4 มีความแตกต่างกันในด้านความเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเปรี้ยวของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

A	B	C	D
7.3^{a}	5.9^{ab}	5.1^{b}	4.8^{b}

จ.1.1.1.6 การยอมรับ

ตารางที่ จ.1.1.1.6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านการยอมรับของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	3	15.7	5.23	1.51	2.96
Judges	9	26.1	2.90		
Error	27	93.3	3.46		
Total	39	135.1			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 4 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านการยอมรับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 4 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

B	A	D	C
7.2 ª	6.7 ª	5.8 ª	5.7 ª

จ.2 การวิเคราะห์คะแนนทางประสาทสัมผัสของการเปรียบเทียบคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ได้จากกระบวนการแช่อิ่มแบบ Osmotic dehydration กับกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

จ.2.1 การวิเคราะห์คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

จ.2.1.1 การวิเคราะห์คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 2 treatment คือ

A = กระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธี Osmotic dehydration

B = กระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีการแช่อิ่มอย่างช้า

จ.2.1.1.1 ลักษณะปรากฏ

ตารางที่ จ.2.1.1.1 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 2 treatment โดยวิธี T-test

SOV	ค่าที่ได้
$\bar{d}$	-1
$\sum d^2$	73
$(\sum d)^2$	169
s	2.24
df	12
t_{value}	2.179
$\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$	1.61

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ก็ต่อเมื่อ $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}} > t_{value}$

จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่า $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$ มีค่าน้อยกว่า t_{value} ดังนั้นตัวอย่างทั้งสองมีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จ.2.1.1.2 สี

ตารางที่ จ.2.1.1.2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 2 treatment โดยวิธี T-test

SOV	ค่าที่ได้
$\bar{d}$	-0.08
Σd^2	25
$(\Sigma d)^2$	1
s	1.44
df	12
t_{value}	2.179
$\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$	0.21

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ก็ต่อเมื่อ $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}} > t_{value}$

จากตารางจะะเห็นได้ว่าค่า $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$ มีค่าน้อยกว่า t_{value} ดังนั้นตัวอย่างทั้งสอง มีสีไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จ.2.1.1.3 ความกรอบ

ตารางที่ จ.2.1.1.3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความกรอบของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 2 treatment

SOV	ค่าที่ได้
$\bar{d}$	0
Σd^2	24
$(\Sigma d)^2$	0
s	1.41
df	12
t_{value}	2.179
$\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$	0

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ก็ต่อเมื่อ $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}} > t_{value}$

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่า $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$ มีค่าน้อยกว่า t_{value} ดังนั้น ตัวอย่างทั้งสองมีความกรอบไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จ.2.1.1.4 ความหวาน

ตารางที่ จ.2.1.1.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความหวานของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 2 treatment

SOV	ค่าที่ได้
$\bar{d}$	-1.08
Σd^2	28
$(\Sigma d)^2$	196
s	1.04
df	12
t_{value}	2.179
$\frac{d}{s/\sqrt{n}}$	3.72

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ก็ต่อเมื่อ $\frac{d}{s/\sqrt{n}} > t_{value}$

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่า $\frac{d}{s/\sqrt{n}}$ มีค่ามากกว่า t_{value} ดังนั้น ตัวอย่างทั้งสองมีความหวานแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จ.2.1.1.5 ความเปรี้ยว

ตารางที่ จ.2.1.1.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความเปรี้ยวของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 2 treatment

SOV	ค่าที่ได้
$\bar{d}$	1.15
Σd^2	43
$(\Sigma d)^2$	225
s	1.46
df	12
t_{value}	2.179
$\frac{d}{s/\sqrt{n}}$	2.875

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ก็ต่อเมื่อ $\frac{d}{s/\sqrt{n}} > t_{value}$

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่า $\frac{d}{s/\sqrt{n}}$ มีค่ามากกว่า t_{value} ดังนั้น ตัวอย่างทั้งสองมีความเปรี้ยวแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จ.2.1.1.6 การยอมรับ

ตารางที่ จ.2.1.1.6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านการยอมรับของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 2 treatment

SOV	ค่าที่ได้
$\bar{d}$	-0.08
Σd^2	23
$(\Sigma d)^2$	1
s	1.38
df	12
t_{value}	2.179
$\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$	0.21

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ก็ต่อเมื่อ $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}} > t_{value}$

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่า $\frac{\bar{d}}{s/\sqrt{n}}$ มีค่าน้อยกว่า t_{value} ดังนั้น ตัวอย่างทั้งสองมีการยอมรับไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จ.3 การวิเคราะห์คะแนนทางประสาทสัมผัสของการเปรียบเทียบผลของการใช้สารเคมี (Ascorbic acid และ $Na_2S_2O_5$) ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และสัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้

จ.3.1 การวิเคราะห์คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

จ.3.1.1 การวิเคราะห์คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง 6 treatment คือ

A = treatment ที่ไม่มีการใช้ ascorbic acid และ $Na_2S_2O_5$ (Control)

B = treatment ที่มีการใช้ 0.5 % ascorbic acid

C = treatment ที่มีการใช้ 1.0 % ascorbic acid

D = treatment ที่มีการใช้ 0.02 % $Na_2S_2O_5$

E = treatment ที่มีการใช้ 0.04 % $Na_2S_2O_5$

F = treatment ที่มีการใช้ 0.5 % ascorbic acid และ 0.02 % $Na_2S_2O_5$

จ.3.1.1.1 ลักษณะปรากฏ

ตารางที่ จ.3.1.1.1 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	5	68.3	13.66	6.07	2.37
Judges	12	51.1	4.26		
Error	60	134.7	2.25		
Total	77	254.1			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 6 มีความแตกต่างกันในด้านลักษณะปรากฏอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

E	D	F	C	B	A
7.15 ^{a}	7 ^{a}	6.69 ^{ab}	6.08 ^{ab}	5.54 ^{b}	4.46 ^{c}

จ.3.1.1.2 <u>สี</u>

<u>ตารางที่ จ.3.1.1.2</u> แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	5	19.6	3.92	1.55	2.37
Judges	12	73.8	6.15		
Error	60	151.9	2.53		
Total	77	245.3			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 6 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

B	C	A	E	D	F
7.08 ª	6.92 ª	6.77 ª	6.23 ª	5.92 ª	5.77 ª

จ.3.1.1.3 ความกรอบ

ตารางที่ จ.3.1.1.3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความกรอบของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	5	22.2	4.44	2.67	2.37
Judges	12	68.2	5.68		
Error	60	99.5	1.66		
Total	77	189.9			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 6 มีความแตกต่างกันในด้านความกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

F	D	B	C	E	A
7.08 ^{a}	6.15 ^{ab}	5.77 ^{b}	5.69 ^{b}	5.69 ^{b}	5.46 ^{b}

จ.3.1.1.4 ความหวาน

ตารางที่ จ.3.1.1.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความหวานของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	5	10.4	2.08	1.22	2.37
Judges	12	28.6	2.38		
Error	60	101.9	1.70		
Total	77	140.9			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 6 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหวานของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

E	D	F	A	B	C
7.08 a	7 a	7 a	6.69 a	6.69 a	6 a

จ.3.1.1.5 <u>ความเปรี้ยว</u>

<u>ตารางที่ จ.3.1.1.5</u> แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านความเปรี้ยวของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	5	47.6	9.52	4.83	2.37
Judges	12	40.6	3.38		
Error	60	118.2	1.97		
Total	77	206.4			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้ง 6 มีความแตกต่างกันในด้านความเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเปรี้ยวของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment โดยวิธี Duncan's new multiple range test

C	B	F	A	E	D
7.46^{a}	6.46^{a}	6^{bc}	5.92^{bc}	5.85^{bc}	4.85^{c}

จ.3.1.1.6 <u>การยอมรับ</u>

<u>ตารางที่ จ.3.1.1.6</u> แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับคุณภาพด้านการยอมรับของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment

SOV	df	ss	ms	F_{cal}	$F_{0.05}$
Samples	5	16.5	3.30	1.94	2.37
Judges	12	35.2	2.93		
Error	60	102.0	1.70		
Total	77	153.7			

จากตารางจะเห็นได้ว่า treatment ทั้งหก ไม่มีความแตกต่างในด้านการยอมรับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งใน 6 treatment

E	F	B	D	C	A
6.92 ^{a}	6.85 ^{a}	6.38 ^{ab}	6.38 ^{ab}	5.85 ^{ab}	5.69 ^{b}

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจุฑารัตน์ ปราบอริพ่าย เกิดเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2517 ที่อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสามเสนวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯ ในปีพ.ศ. 2534 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2538

นางสาวเยาวมาลย์ เจนจิตรานันท์ เกิดเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม 2515 ที่อำเภอปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเซนต์โยเซฟคอนเวนต์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯ ในปีพ.ศ. 2534 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2538