ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร — **สาขา**

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร — **ภาควิชา**

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

Factors Affecting Odor Changes in Frozen Pineapples

นามผู้วิจัย นางสาวทิพย์ธิดา แก้วตาทิพย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

Factors Affecting Odor Changes in Frozen Pineapples

โดย

นางสาวทิพย์ธิดา แก้วตาทิพย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
พ.ศ. 2552

ทิพย์ธิดา แก้วตาทิพย์ 2552: ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D. 111 หน้า

การแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการแปรรูปผักผลไม้ที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถคงคุณค่าทางอาหารไว้ได้ดี แต่การแช่เยือกแข็งมีผลต่อคุณภาพของผักและผลไม้ในด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรส ซึ่งส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคได้ จากรายงานของ IRPUS ชี้ให้เห็นว่าสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นรสน้อยกว่าสับปะรดสด ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรด เทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ได้แก่ จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (electronic nose, e-nose) ก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน ในงานวิจัยนี้ใช้ปัจจัยต่าง ๆ คือ สับปะรด 2 พันธุ์ คือ ศรีราชาและภูเก็ต บรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด คือ โพลีโพรพิลีน ไนลอน และบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวหรือรีทอร์ต เพาช์ การแช่เยือกแข็ง 4 อัตรา คือ อัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า เร็ว เร็วมาก และแบบปรับเปลี่ยนอัตราเร็ว และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ 3 ระดับ คือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยใช้สับปะรดสดเป็นตัวอย่างควบคุม จากผลการทดลองพบว่า การแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรด สับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นมากกว่าสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต ขณะที่บรรจุภัณฑ์ไม่มีผล ส่วนอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบอื่น แต่อย่างไรก็ตามที่ระยะการเก็บรักษา 30 วัน อัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว เร็วมากและแบบปรับเปลี่ยนอัตราเร็วเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากกว่าที่ระยะการเก็บรักษา 1 วัน ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า จากผลการตรวจสอบกลิ่นโดยเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ แสดงให้เห็นว่าสับปะรดพันธุ์ศรีราชามีสารระเหยให้กลิ่นทั้งสิ้น 14 ชนิด ส่วนสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตมีสารระเหยให้กลิ่นทั้งสิ้น 27 ชนิด การแช่เยือกแข็งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นซึ่งเกี่ยวข้องกับการสูญเสียสารระเหยให้กลิ่นต่าง ๆ และสูญเสียสารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญในสับปะรดสด ซึ่งสารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญในสับปะรดสดมี 4 ชนิด คือ methyl hexanoate, ethyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropionate และ 1,3,5-undecatriene การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็งได้บางส่วน โดยสามารถลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาได้มากกว่าพันธุ์ภูเก็ต

_____ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Thipthida Kaewtathip 2009: Factors Affecting Odor Changes in Frozen Pineapples. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Sanguansri Charoenrein, Ph.D. 111 pages.

Freezing is an excellent and fairly widespread method of preserving food products. However, the freezing of fruits may alter quality characteristics such as flavor and texture which, in turn could affect marketing potential. The report of IRPUS indicated that freeze-thawed pineapple obtained lower sensory scores in terms of flavor than fresh pineapple. The objective of this work was to study effect of freezing and thawing on odor changes in freeze-thawed pineapple. Odor change was determined by an electronic nose (e-nose), gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and sensory evaluation. Two varieties of pineapple; Smooth Cayenne and Queen, three kinds of packaging; polypropylene, nylon and retort pouch, four freezing rates; slow freezing, quick freezing, very quick freezing and alternate freezing and three treatment of low temperature blanching; 60, 70 and 80ºC were used as factors in this study. Fresh pineapple was used as a control. The results showed that freezing and thawing had an effect on odor changes in pineapple. Smooth Cayenne had an effect on odor changes more than Queen. While packaging had no effects. Slow freezing induced higher odor changes than other freezing rates. However, at 30 days quick freezing, very quick freezing and alternate freezing induced more odor changes than 1 day. Storage time had no significant differences ($p<0.05$) on slow freezing. Aroma profiles of freeze-thawed pineapple determined by GC-MS showed that Smooth Cayenne had 14 volatile compounds and Queen had 27 volatile compounds. Freezing and thawing associated with the loss of some main characteristic and other volatile compounds in fresh pineapple. These main characteristic volatile compounds of fresh pineapple were methyl hexanoate, ethyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropanoate and 1,3,5-undecatriene. Blanching at 70°C can slightly reduced odor changes in frozen-thawed pineapple. Blanch Smooth Cayenne pineapple had less odor changes than Queen.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สงวนศรี เจริญเหรียญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก เป็นอย่างสูง ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านคำปรึกษา ด้านการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุคนธ์ชื่น ศรีงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.วราภรณ์ บุญทรัพย์ทิพย์ ประธานการสอบ และ ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2549 ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย ขอขอบคุณบริษัทบางกอกอินดัสเทรียล จำกัด ที่สนับสนุนไนโตรเจนเหลวสำหรับการแช่เยือกแข็ง และขอขอบคุณบริษัทสิทธิพร แอสโซซิเอส ที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้สนับสนุนการศึกษา ผู้ให้ความรักความเข้าใจและเป็นกำลังใจที่สำคัญในการดำเนินชีวิตตลอดมา ขอขอบคุณพี่ชายทั้งสองคน พี่สาว ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคนสำหรับความห่วงใยและกำลังใจที่มีให้กันเสมอมา และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ กำลังใจ และความรู้สึกดี ๆ ตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงอย่างสมบูรณ์

ทิพย์ธิดา แก้วตาทิพย์

มกราคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	92
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส	108
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การส่งออกสับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด	7
2	องค์ประกอบ และคุณค่าทางโภชนาการของสับปะรดผลสุก	8
3	สารระเหยให้กลิ่นในสับปะรด	9
4	คุณสมบัติของโพลีโพรพิลีนและไนลอน	23
5	ข้อกำหนดคุณสมบัติของรีทอร์ต เพาช์	25
6	ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชา	48
7	ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต	51
8	ระดับคะแนนเฉลี่ยของการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัสในสับปะรด 2 พันธุ์ที่จำนวน 1, 2 และ 3 รอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย	58
9	ระดับคะแนนเฉลี่ยของปริมาณการเกิดกลิ่นผิดปกติโดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัสในสับปะรด	67
10	ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง	68
11	ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง	70

ตารางผนวกที่

ก1	ชนิดของเซนเซอร์และความสามารถในการวิเคราะห์	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้างของ methyl hexanoate, ethyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropionateและ 1,3,5-undecatriene	11
2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการแช่เยือกแข็ง	14
3	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อโดยการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว	16
4	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อโดยการแช่เยือกแข็งแบบช้า	16
5	สูตรโครงสร้างของโพลีโพรพิลีน	22
6	สูตรโครงสร้างของไนลอน	22
7	Principal Component Analysis (PCA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรดพันธุ์ศรีราชา	45
8	Discriminate factorial analysis (DFA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรดพันธุ์ศรีราชา	46
9	Principal Component Analysis (PCA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรด 2 พันธุ์	55
10	Discriminate factorial analysis (DFA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรด 2 พันธุ์	56
11	Principal Component Analysis (PCA) ของการวิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด	59
12	Discriminate factorial analysis (DFA) ของการวิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด	60
13	Principal Component Analysis (PCA) วิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ	62
14	Discriminate factorial analysis (DFA) วิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ	64
15	ค่า Odor units ของสับปะรดที่แช่เยือกแข็งที่อัตราเร็วต่าง ๆ กัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 1 และ 30 วัน	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

16 ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารประกอบในกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง 73

17 ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารประกอบในกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง 77

ภาพผนวกที่

ก1 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ 93

ก2 แผนภาพการแช่เยือกแข็งของสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ 94

ก3 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดพันธุ์ศรีราชา 97

ก4 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดพันธุ์ศรีราชา 97

ก5 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรด 2 พันธุ์ 98

ก6 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรด 2 พันธุ์ 98

ก7 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด 99

ก8 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด 99

ก9 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่าง ๆ 100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก10	การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่าง ๆ	100
ก11	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด	102
ก12	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย	103
ก13	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งและทำละลาย	104
ก14	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด	105
ก15	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย	106
ก16	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งและทำละลาย	107

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

Factors Affecting Odor Changes in Frozen Pineapples

คำนำ

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย มีการขยายการผลิตเชิงอุตสาหกรรมและส่งผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายต่างประเทศทำรายได้เข้าประเทศปีละไม่ต่ำกว่าหมื่นล้านบาท สำหรับการบริโภคนั้นมีทั้งการนำไปใช้เพื่อการบริโภคสดและแปรรูปในรูปของผลิตภัณฑ์สับปะรด ได้แก่ สับปะรดแห้ง สับปะรดกระป๋อง สับปะรดบรรจุขวดแก้ว สับปะรดแช่เยือกแข็ง สับปะรดกวน น้ำสับปะรดบรรจุกระป๋อง และน้ำสับปะรดบรรจุขวดแก้ว เป็นต้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการแปรรูปผลไม้ด้วยความร้อนได้รับความนิยมลดลง เนื่องจากผู้บริโภคทั่วโลกให้ความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และลักษณะปรากฏของอาหารมากขึ้น การแปรรูปด้วยความร้อนทำให้สารอาหารต่าง ๆ ตลอดจนวิตามินสำคัญในผลไม้ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้เนื้อสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติของผลไม้เปลี่ยนไป ผู้บริโภคหันมาสนใจผลไม้แช่เยือกแข็งมากขึ้น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งยังคงคุณภาพของอาหารทั้งในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ดีกว่า

แม้ว่าผลไม้แช่เยือกแข็งจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น แต่การแช่เยือกแข็งผลไม้ ยังมีปัญหาในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การแช่เยือกแข็งสตรอเบอรี่มีผลทำให้กลิ่นสตรอเบอรี่ลดลงและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นหรือเกิดกลิ่นผิดปกติขึ้น (Deng *et al*., 1996) เนื่องจากผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณมากถึงร้อยละ 85-90 เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งจึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งปริมาณมากมีผลทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้เกิดความเสียหาย (Talens *et al.*, 2003) และอาจทำให้สารระเหยชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในเนื้อเยื่อสูญเสียไป จากรายงานโครงงาน IRPUS การแช่เยือกแข็งสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองและพันธุ์ปัตตาเวีย (กุลธิดาและคณะ, 2547) พบว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสของสับปะรดหลังแช่เยือกแข็งมีค่าลดลงจากคะแนนของสับปะรดสด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้กลิ่นรสของสับปะรดเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสนี้ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง การเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสในสับปะรดแช่เยือกแข็งอาจมีผลมาจากปัจจัยภายนอก เช่น บรรจุภัณฑ์ อัตราการแช่เยือกแข็ง หรืออาจเกิดจากปัจจัยภายในสับปะรด เช่น พันธุ์ ปฏิกิริยาเคมีขององค์ประกอบต่าง ๆ หรือเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีอยู่ในสับปะรด

โดยทั่วไปการใช้วิธีทดสอบทางประสาทสัมผัสตรวจสอบกลิ่นรสในอาหารนั้นแม้จะเป็นวิธีที่นิยมที่สุด แต่อาจมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น สภาวะจิตใจของผู้ทดสอบ สภาวะแวดล้อมที่ใช้ทดสอบ การระบุปริมาณ เป็นต้น (Berna *et al.*, 2004) จึงเป็นที่มาของการคิดหาวิธีการอื่น ๆ หรือหาเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ทดแทนการตรวจสอบกลิ่นรสในอาหาร จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose, E-nose) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบกลิ่นรสในอาหาร โดยในเครื่อง E-nose จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี โดยจะมีอุปกรณ์รับรู้หรือเซนเซอร์ (sensor) หลายตัวรับกลิ่นต่าง ๆ อย่างเฉพาะเจาะจง (Zhu *et al.*, 2004) เซนเซอร์จะส่งสัญญาณซึ่งแสดงระดับกลิ่นออกมาบนหน้าจอ นอกจากนี้ E-nose ยังมีประโยชน์อีกหลายด้าน เช่น ใช้งานได้ง่าย และการเตรียมตัวอย่าง สามารถวัดผลได้อย่างรวดเร็ว (Marin *et al.*, 2007) แม่นยำและเชื่อถือได้ รวมทั้งสามารถบอกปริมาณหรือระดับความเข้มข้นของกลิ่นได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงปัจจัยของการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง โดยหวังว่าข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้จะสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่เยือกแข็ง ซึ่งช่วยจะแก้ปัญหาในเรื่องการยอมรับของผู้บริโภคเพื่อเพิ่มมูลค่าทางการตลาดมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย พันธุ์ บรรจุภัณฑ์ อัตราการแช่เยือกแข็ง และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

การตรวจเอกสาร

1. พันธุ์สับปะรด

สับปะรด (*Ananas comosus* (L) Merr.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีอายุหลายปี อยู่ในวงศ์ Bromeliacese สกุล Ananas เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของโลกได้แก่ สหภาพอัฟริกาใต้ เม็กซิโก สหรัฐอเมริกา (ฮาวาย) เคนยา ออสเตรเลีย (ควีนส์แลนด์) ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน มาเลเซีย อินโดนีเซีย และประเทศไทย (สุภกาญจน์, 2548) พืชในสกุลนี้มีลักษณะพิเศษแตกต่างจากสกุลอื่นๆ คือมีลักษณะของผลประกอบไปด้วย carpel เชื่อมติดกัน เรียกว่า syncarpous type มีจุกซึ่งเป็นลักษณะเด่นไม่พบในสกุลอื่นๆ (ประธาน, 2544)

สับปะรดที่ปลูกเป็นการค้าทั่วโลกแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ Cayenne, Queen, Spanish, Abacasi และ Maipure ส่วนสับปะรดที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยมี 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่ม Cayenne นิยมรับประทานผลสดและส่งเข้าโรงงานบรรจุกระป๋อง เช่น พันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์นางแล

2. กลุ่ม Queen นิยมรับประทานผลสด เช่น พันธุ์ภูเก็ตหรือสวี

3. กลุ่ม Spanish นิยมรับประทานผลสด เช่น พันธุ์อินทรชิตและพันธุ์ขาว

สำหรับพันธุ์สับปะรดในประเทศไทยจัดแบ่งแยกออกได้ 5 พันธุ์ (สถาพร, 2539) ลักษณะประจำพันธุ์สับปะรดที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยโดยถือตามลักษณะของต้นที่ได้ขนาดโตเต็มที่และแข็งแรงสมบรูณ์เป็นบรรทัดฐาน มีดังนี้

1. พันธุ์ปัตตาเวีย สูงประมาณ 93-120 เซนติเมตร มีลำต้นสูง 20-50 เซนติเมตร มีใบประมาณ 60-80 ใบ ขนาดใบยาวประมาณ 81-97 เซนติเมตร กว้างประมาณ 6.5 เซนติเมตร ใบสีเขียวเข้มเป็นร่องที่ตรงกลาง ผิวใบด้านบนเป็นเงา ด้านใต้ใบจะมีสีออกเทาเงิน ขอบใบเรียบ กลางใบมักมีสีแดงอมน้ำตาล ปลายใบมีหนามเล็กน้อยหรืออาจมีหนามที่ขอบใบด้วย มีผลขนาด 2.3-3.6 กิโลกรัม รูปทรงสับปะรดมักจะเป็นรูปทรงกระบอก เปลือกผลมีสีเขียวปนดำเมื่อแก่ ตาหรือผลย่อย

จะตื้นแบนกว่าพันธุ์อื่นๆ ขนาดผลย่อยประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร และจะใหญ่ที่ส่วนด้านในที่ติดกับแกน ทุกผลย่อยหรือตาจะมีกลีบรองดอก ซึ่งค่อนข้างมีขอบหยักหุ้มอยู่ โดยจะมีกลีบเลี้ยงรวมอยู่ด้วยกับกลีบรองดอกทำให้นูนขึ้นมาเล็กน้อย เนื้อของผลจะมีสีเหลืองซีดหรือเหลืองอ่อน แต่สีจะเข้มขึ้นในฤดูร้อน ผลไม่มีเมล็ด น้ำสับปะรดมีอัตราความเป็นกรด 0.4-0.7 กรัมต่อน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร ค่าความเป็นกรดเฉลี่ยประมาณ 4.0 และอยู่ในช่วง 3.9-4.1 และมีน้ำตาล 12-16 เปอร์เซ็นต์ จุกโดยปกติมีเพียงจุกเดียว ตะเกียงบนผลจะมี 0-10 หน่อ ขึ้นอยู่กับความสมบรูณ์ของต้นแม่ หน่อข้างที่อยู่ที่ซอกใบจะมีประมาณ 0-3 หน่อ และมีความยาวประมาณ 35-40 เซนติเมตร ขนาดของผลที่เหมาะแก่การบรรจุกระป๋องควรมีขนาดประมาณ 4.5-5 นิ้ว รูปร่างควรเป็นทรงกระบอก น้ำหนักผลที่เหมาะที่สุดควรอยู่ในช่วง 1.25-1.40 กิโลกรัมต่อผล

2. พันธุ์นางแลหรือพันธุ์น้ำผึ้ง จัดเป็นพันธุ์ย่อยของพันธุ์ปัตตาเวีย ลักษณะของต้น ใบ ดอก คล้ายกับพันธุ์ปัตตาเวีย มีทรงพุ่มไล่เลี่ยกัน ขอบใบเรียบไม่มีหนาม มีหนามที่ปลายใบเล็กน้อย แตกต่างกันที่รูปร่างของผลโดยสับปะรดพันธุ์นางแลนี้จะมีผลรูปร่างเป็นทรงกลม ผลย่อยมีจำนวนน้อย ใหญ่และนูนกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ตาไม่ฝังลึก เปลือกบาง เนื้อมีรสหวานแหลม จัดเป็นพวกมีเยื่อใยต่ำ เนื้อสีเหลืองเข้ม ผลมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับพันธุ์ปัตตาเวีย เหมาะสำหรับบริโภคสดเท่านั้น

3. พันธุ์ภูเก็ตหรือพันธุ์สวี มีพุ่มเล็กกว่าอินทรชิต ความสูงจากพื้นดินถึงยอดจุกประมาณ 66 เซนติเมตร ใบเฉลี่ยยาว 53 เซนติเมตร โคนใบสีเขียวตองอ่อนมีแถบสีแดงตอนกลางของใบและปลายใบทำให้ใบมีสีชมพูปนแดง ใบแคนกว่าใบอินทรชิตและขาว ขอบใบมีหนามเรียงตัวอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ หนามสีชมพูอมแดง ก้านผลมีใบสีชมพูอมแดง ก้านผลสั้น 7-12 เซนติเมตร ผลย่อยนูนเด่นชัด กลีบเลี้ยงด้านบนมีสีแดงปนชมพู ผลมีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ทรงผลค่อนข้างยาวเป็นทรงกระบอกสม่ำเสมอกว่าพันธุ์อื่นๆ ตาลึกเฉลี่ย 1.37 เซนติเมตร ลึกที่สุดใน 5 พันธุ์ เนื้อสีเหลืองเข้มสม่ำเสมอตลอดทั้งผล ปริมาณเส้นใยในเนื้อต่ำมาก เนื้อกรอบ มีความหวานสูงประมาณ 16.2-18.2 บริกซ์ ปริมาณกรด (ซิตริก) ประมาณ 0.52-0.68 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 0.54 เปอร์เซ็นต์ แกนผลมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื้อมีช่องว่างมากขนาดใหญ่

4. พันธุ์อินทรชิตหรืออินทรชิตแดง มีทรงพุ่มใหญ่ สูงประมาณ 90-120 เซนติเมตร ใบมีหนามสีน้ำตาลอมแดงโค้งงอตลอดขอบของใบ ผิวใบด้านบนมีลักษณะย่นตามแนวยาว ไม่เป็นมันเด่นชัดเช่นพันธุ์ปัตตาเวีย ใบแก่ทั่วๆไปจะมีสีเขียวหรือสีเขียวคล้ำและมักพบมีแถบสีม่วงอมแดงพาดเป็นแถบตามขอบใบทั้งสองด้าน ใบแก่มักจะมีปุ่มนูนสีน้ำตาลอ่อนกระจายทั่วไป ใบมีจำนวนประมาณ 35-75 ใบ ความยาวประมาณ 100-120 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร ที่ตรงกลางใบ

ด้านบนมีสีเขียวคล้ำหรือเขียวอมน้ำตาล ใต้ใบจะมีสีเขียวออกขาวและวาวออกน้ำเงิน ผลรวมของสับปะรดเกิดอยู่บนก้านผลยาว 20-25 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2 เซนติเมตร โดยมีใบที่ก้านผลสีแดงสดติดอยู่ ผลเป็นรูปทรงกระบอก เปลือกผลเมื่อดิบจะมีสีเขียวอมแดงและเปลี่ยนเป็นสีส้มเมื่อผลแก่จัด ขนาดของผลมีขนาดเล็กประมาณ 1.9-1.8 กิโลกรัม เฉลี่ย 0.93 กิโลกรัม เนื้อสับประรดมีสีเหลืองสด มีเยื่อใยมาก ฉ่ำตลอดทั้งผล รสหวานอ่อน มีปริมาณความหวาน 10-11 บริกซ์ ปริมาณกรด 0.41-0.42 เปอร์เซ็นต์ ผลมีลักษณะเป็นโพรงอันเกิดจากช่องตาลึก จุกด้านบนของผลมีขนาดยาว 30-40 เซนติเมตร และมีจุกเดียวเท่านั้น มีตะเกียงอยู่กับก้านผล 3-10 หน่อ หน่อข้างและหน่อดินมี 1-3 หน่อ

5. พันธุ์ขาว ใบเหมือนกับพันธุ์อินทรชิตแต่ใบจะมีสีเขียวอมเหลืองหรือเขียวใบไม้อาจมีสีม่วงพาดตามยาวได้ในบางต้น ขอบใบมีหนามสีเขียวอ่อนเรียบตลอดแนวยาวทั้งสองด้านของใบ ผลขนาดปานกลางหนักเฉลี่ย 0.85 กิโลกรัม รูปร่างทรงกระบอก ก้านผลยางประมาณ 20-35 เซนติเมตร ใบประดับที่ก้านผลมีสีเหลืองอมเขียวเช่นเดียวกับกลีบเลี้ยง เนื้อผลมีสีเหลืองทองจางกว่าพันธุ์อินทรชิต ปริมาณเส้นใยใกล้เคียงกับกับพันธุ์อินทรชิต รสหวานอ่อน มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาล 12.5-12.8 บริกซ์ เฉลี่ย 12.65 บริกซ์ ตาลึกทำให้ผลฟ่าม จุกมีขนาดเล็กกว่าอินทรชิตจำนวนตะเกียง 0-3 หน่อ หน่อข้างมีประมาณ 0-2 หน่อ พันธุ์ขาวมีรสเปรี้ยวมากกว่าพันธุ์อินทรชิต

นอกจากนี้ยังมีสับปะรดอีกพันธุ์หนึ่งซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศและทำการปลูกอยู่ที่จังหวัดตราดเท่านั้น คือ พันธุ์ลักกะตา มีลักษณะคล้ายพันธุ์ปัตตาเวียแต่พันธุ์ลักกะตามีทรงพุ่มที่ใหญ่กว่าพันธุ์ปัตตาเวียและมีใบประมาณ 124 ใบ ความกว้างของใบประมาณ 5.61 เซนติเมตร ยาว 88.14 เซนติเมตร ความยาวของก้านผล 18.64 เซนติเมตร พีเอช (pH) 3.71 ปริมาณกรด 0.82 เปอร์เซ็นต์ (สถาพร, 2539)

2. การส่งออกสับปะรดของไทย

สับปะรดจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สามารถจำหน่ายได้ทั้งตลาดภายในประเทศ และต่างประเทศ สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2550) รายงานว่า ปริมาณผลผลิตสับปะรดในปี 2549 มีประมาณ 2,705,179 ตัน โดยส่งออกทั้งในรูปสับปะรดสดและผลิตภัณฑ์จากสับปะรด คิดเป็นมูลค่า 21,182 ล้านบาท สำหรับผลิตภัณฑ์จากสับปะรด เช่น สับปะรดแช่เย็น สับปะรดแช่เยือกแข็ง สับปะรดกระป๋อง และน้ำสับปะรด เป็นต้น ซึ่งมีมูลค่าการส่งออกดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การส่งออกสับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด (ปริมาณ:ตัน มูลค่า:ล้านบาท)

สินค้า	ปี 2548		ปี 2549		ปี 2550 (ม.ค.-ต.ค.)	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
รวม	637,650	15,762	817,465	20,207	545,431	14,690
สับปะรดสดแช่เย็น	5,165	61	6,772	80	2,316	40.88
สับปะรดสดแช่เยือกแข็ง	4,643	276	2,410	143	2,771	113.11
สับปะรดกระป๋อง	483,070	10,890	593,030	13,369	409,604	9,991.84
น้ำสับปะรดเข้มข้น	119,490	3,345	187,633	5,252	110,443	3,389.22
สับปะรดแปรรูปอื่นๆ	25,282	1,248	27,620	1,363	20,297	1,155.26

ที่มา: กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ (2550)

3. องค์ประกอบและสารระเหยให้กลิ่นของสับปะรด

สับปะรดเป็นผลไม้เขตร้อนที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เพราะมีกลิ่นและรสชาติที่น่าดึงดูดใจ ส่วนประกอบของเนื้อสับปะรดสุกประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 80 ดังตารางที่ 2

นอกจากนั้นเนื้อสับปะรดสุกยังประกอบไปด้วยน้ำตาล วิตามิน ใยอาหาร และแร่ธาตุต่าง ๆ การบริโภคสับปะรดนิยมบริโภคทั้งในรูปของสับปะรดสด และผลิตภัณฑ์จากสับปะรด เช่น น้ำสับปะรด สับปะรดกระป๋อง แยมสับปะรด หรือนำสับปะรดมาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ

เนื่องจากกลิ่นของสับปะรดเป็นกลิ่นของผลไม้ที่ได้รับความนิยม จึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับสารระเหยให้กลิ่นในสับปะรดมากมาย เช่น Tokitomo *et al*., (2005) รายงานว่า สับปะรดมีสารระเหยให้กลิ่นมากกว่า 280 ชนิด ซึ่งตัวอย่างสารระเหย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 องค์ประกอบ และคุณค่าทางโภชนาการของสับปะรดผลสุก

องค์ประกอบ	ปริมาณ
เถ้า (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.30-0.42
น้ำ (ร้อยละของน้ำหนักสด)	81.2-86.2
เยื่อใย (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.30-0.61
ไนโตรเจน (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.045-0.115
เพคติน (ร้อยละของน้ำหนักสด)	0.06-0.16
น้ำตาล (ร้อยละของน้ำหนักสด)	
ซูโครส	5.9-12.0
กลูโคส	1.0-3.2
ฟรุคโตส	0.6-2.3
เซลลูโลส	0.43-0.54
กรด (ร้อยละของน้ำหนักสด)	
กรดซิตริค	0.32-1.22
กรดมาลิค	0.1-0.47
กรดออกซาลิค	0.005
สารระเหย (ไมโครกรัมต่อกรัม)	
เอสเทอร์	0.2-2.5
รงควัตถุ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	
แคโรทีน	0.13-0.29
แซนโทฟิล	0.03
วิตามิน (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	
กรดพารา-อะมิโนเบนโซอิค	17-22
กรดโฟลิก	2.5-4.8
ไนอาซีน	200-280
กรดแพนโทธีนิค	75-163
ไธอามีน	69-125
ไรโบฟลาวิน	20-88
วิตามิน-บี6	10-140
วิตามิน-เอ	0.02-0.04
กรดแอสคอร์บิค	10-25

ที่มา: ดัดแปลงจาก จินตนา (2535)

ตารางที่ 3 สารระเหยให้กลิ่นในสับปะรด

สารระเหย	ลักษณะกลิ่น
Ethyl acetate	Solvent-like, fruity
Methyl 2-methylpropanoate	Fruity, sweet
Ethyl 2-methylpropanoate	Fruity, sweet
2,3-Butanedione	Buttery
Methyl 2- and 3-methylbutanoate	Fruity, apple-like
Ethyl butanoate	Fruity
Ethyl 2-methylbutanoate	Fruity
Ethyl hexanoate	Fruity
Octanal	Citus, fatty
(Z)-1,5-Octadiene	Geranium-like
1,3,5-Undecatriene	Fresh, pineapple-like
1,3,5,8-Undecatetraene	Fresh, pineapple-like
4-Methoxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	Caramel-like
Butanoic acid	Sour
β-Damascenone	Fruity, sweet
γ-Octalactone	Fruity, coconut-like
δ-Octalactone	Coconut-like
γ-Nonalactone	Peach-like, fruity
4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	Sweet, pineapple-like, caramel-like
γ-Decalactone	Fruity, sweet, peach-like
δ-Decalactone	Sweet, coconut-like
3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone	Seasoning-like
γ-Dodecalactone	Fruity, sweet
Phenylacetic acid	Honey-like
Vanillin	Vanilla-like

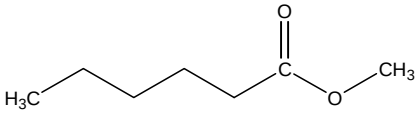
ที่มา: ดัดแปลงจาก Tokitomo *et al.* (2005)

โดยทั่วไปสารระเหยให้กลิ่นสับปะรดจะอยู่ในกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ แลกโทน คาร์บอนิล แอลกอฮอล์ และฟีนอล ซึ่งเอสเทอร์เป็นกลุ่มหลักของสารระเหยให้กลิ่นในสับปะรด (Lamikanra and Richard, 2004)

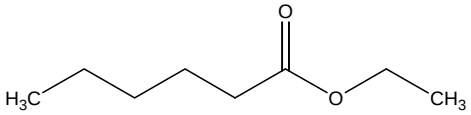
กลุ่มของสารระเหยในสับปะรดที่มีโครงสร้างเป็นสายตรง เช่น เอสเทอร์ แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และอีเทอร์ และกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นวง เช่น เบนซิลเอสเทอร์ และซินนามิลเอสเทอร์ (จินตนา, 2535)

สารระเหยหลักที่สำคัญในสับปะรดสด 4 ชนิด คือ methyl hexanoate, ethyl hexanoate (Lamikanra and Richard, 2004; Preston *et al.*, 2003; Elss *et al*., 2005), ethyl 3-methylthiopropionate (Elss *et al*., 2005) และ 1,3,5-undecatriene (Tokitomo *et al*., 2005) สูตรโครงสร้างของสารเหล่านี้ดังแสดงในภาพที่ 1

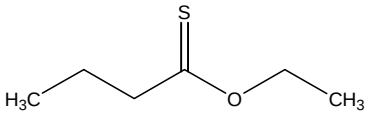
Elss *et al*. (2005) ศึกษากลิ่นของสับปะรดและผลิตภัณฑ์จากสับปะรด โดยศึกษากลิ่นสับปะรดจากน้ำสับปะรดสด เปรียบเทียบกับกลิ่นของผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดเข้มข้น และผลิตภัณฑ์แยมสับปะรด จากการวิเคราะห์กลิ่นโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี พบว่ากลิ่นของน้ำสับปะรดสดส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มเอสเทอร์ แต่ในผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดเข้มข้นและแยมสับปะรด จะพบลักษณะกลิ่นที่สำคัญที่อยู่ในกลุ่มเอสเทอร์ เช่น methyl esters และ hydroxyl หรือ acetoxy esters มีในปริมาณค่อนข้างน้อย และผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดพร้อมบริโภคที่เตรียมมาจากผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดเข้มข้นให้ลักษณะกลิ่นที่คล้ายกันกับผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดเข้มข้น



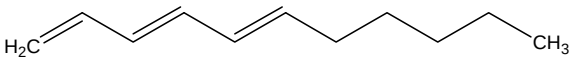
methyl hexanoate



ethyl hexanoate



ethyl 3-methylthiopropionate



1,3,5-undecatriene

ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของ methyl hexanoate, ethyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropionate และ 1,3,5-undecatriene

4. การแปรรูปสับปะรด

สับปะรดสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญได้แก่ สับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรด สับปะรดแช่เยือกแข็ง สับปะรดอบแห้ง และสับปะรดกวน

4.1 สับปะรดกระป๋อง

ผลผลิตส่วนใหญ่จะแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดกระป๋องชนิดต่าง ๆ เช่น สับปะรดแว่น (slice) สับปะรดชิ้นยาว (spear) สับปะรดชิ้นใหญ่ (chunk) สับปะรดชิ้นลิ่ม (tidbits) สับปะรดลูกเต๋า (cube หรือ dice) และน้ำสับปะรด (pineapple juice) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่วนใหญ่ถูกส่งออกไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

4.2 น้ำสับปะรด

ผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรด จัดได้ว่าเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง เพราะวัตถุดิบที่เหลือจากการผลิตสามารถนำมาคั้นเป็นน้ำสับปะรดได้ ผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดสามารถแยกได้ 2 ประเภท

4.2.1 ผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรด ได้จากน้ำสับปะรดที่คั้นจากเศษเหลือต่าง ๆ ของสับปะรด และผ่านกระบวนการต่าง ๆ เป็นน้ำสับปะรดพร้อมดื่ม

4.2.2 ผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดเข้มข้น ได้จาการนำน้ำสับปะรดมาระเหยน้ำออกเพื่อสะดวก และประหยัดค่าขนส่ง ก่อนดื่มต้องนำมาผสมน้ำอีกครั้งหนึ่ง (สุภกาญจน์, 2548)

4.3 สับปะรดแช่เยือกแข็ง

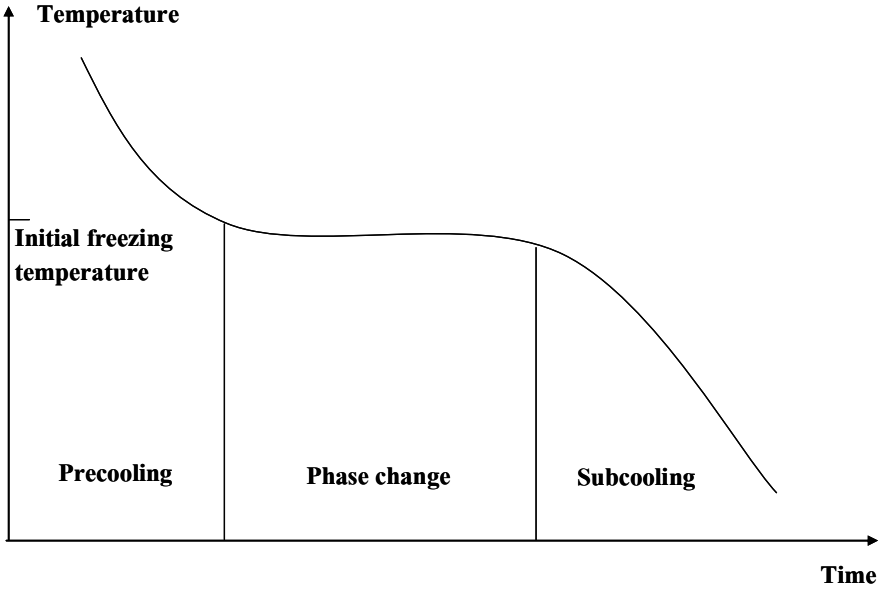
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็ง (มอก. 425-2525) กำหนดกรรมวิธีการผลิตสับปะรดแช่เยือกแข็ง จะต้องใช้สับปะรดที่สดและสุก นำมาปอกเปลือกและคว้านแกนออก ล้างและตัดแต่งรูปลักษณะที่ต้องการ แล้วนำมาแช่เยือกแข็ง โดยให้บริเวณจุดกึ่งกลางมีอุณหภูมิไม่สูงกว่า -18°ซ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า -18°ซ เพื่อจะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ ในการแช่เยือกแข็งอาจใช้น้ำ น้ำเกลือ หรือน้ำเชื่อมบรรจุรวมกับสับปะรดเพื่อช่วยในการรักษาคุณภาพของสับปะรด โดยคุณลักษณะสับปะรดแช่เยือกแข็งที่ต้องการ ต้องมีสีสม่ำเสมอตามธรรมชาติของสับปะรดพันธุ์นั้น ๆ ต้องไม่มีกลิ่นรสน่ารังเกียจอื่นใดปนอยู่ นอกจากกลิ่นรสเฉพาะตามธรรมชาติของสับปะรดแช่เยือกแข็ง ต้องเป็นสับปะรดเนื้อแน่นไม่มีรูพรุน ไม่เป็นสับปะรดอ่อน งอม แกร็น หรือฟ่าม

นอกจากการแปรรูปที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สับปะรดยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อีกหลายอย่าง ทั้งที่อยู่ในรูปของสับปะรดหรือเปลี่ยนสภาพเป็นอย่างอื่น ๆ เช่น การนำมากวนเป็นสับปะรดกวน นำมาบรรจุกระป๋องรวมกับผลไม้ชนิดอื่น นำมาหมักเป็นเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ (ไวน์) หรือนำมาหมักทำเป็นน้ำส้มสายชู เป็นต้น (สุภกาญจน์, 2548)

5. การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่สามารถรักษาคุณภาพของอาหารทั้งในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส หรือคุณค่าทางอาหาร ได้ดีกว่าการถนอมอาหารด้วยวิธีการอื่น ๆ จึงทำให้มีการผลิตอาหารแช่เยือกแข็งกันอย่างกว้างขวาง แต่อย่างไรก็ตามการแช่เยือกแข็งจำเป็น ต้องควบคุมปัจจัยในด้านต่าง ๆ เช่น การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา หรือการควบคุมกระบวนการเตรียมอาหารก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งได้ (George, 1997)

การแช่เยือกแข็งเป็นการดึงความร้อนแฝง (latent heat) และความร้อนสัมผัส (sensible heat) ออกจากอาหารเพื่อต้องการให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงถึง -18°ซ หรือต่ำกว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ตามภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน 3 ช่วงระยะ คือ precooling, phase change และ subcooling ในช่วง precooling เป็นช่วงเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็ง ความร้อนสัมผัสของอาหารถูกดึงออกมา อุณหภูมิของอาหารจึงลดต่ำลงไปจนถึงจุดที่น้ำอิสระ (free water) เริ่มเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง (ice crystals) ในช่วง phase change เป็นช่วงของเปลี่ยนแปลงสถานะจากน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง เมื่อลดอุณหภูมิลงอย่างต่อเนื่อง น้ำถูกแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น เกิดผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้น สารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความร้อนแฝงทั้งหมดจะถูกปล่อยออกมาขณะเกิดผลึกน้ำแข็ง ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในช่วงนี้จะค่อนข้างคงที่ แต่อุณหภูมิก็จะค่อย ๆ ลดต่ำลงเพราะสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลังการเกิดผลึกน้ำแข็ง การที่สารละลายมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าน้ำเนื่องจากความดันไอของสารละลายต่ำกว่าน้ำ ช่วงของการเกิด phase change มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งเนื่องจากส่งผลต่อโครงสร้างของผลึกน้ำแข็ง ส่วนช่วง subcooling เป็นช่วงการลดอุณหภูมิไปจนถึงอุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งหรืออุณหภูมิในการเก็บรักษา ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำเปลี่ยนแปลงกลายเป็นผลึกน้ำแข็งทั้งหมด ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งระบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานความร้อน (Sun and Zheng, 2006; Persson and Londahl, 1993; Rahman, 1995)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารในระหว่างการแช่เยือกแข็ง
ที่มา: Sun and Zheng (2006)

หลักการพื้นฐานในการแช่เยือกแข็ง คือ การลดอุณหภูมิของอาหารหรือผลิตภัณฑ์นั้นให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตนั้นไม่สามารถจะดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ ทำให้จุลินทรีย์ในอาหารหยุดการเจริญเติบโตและหยุดกระบวนการทางเมแทบอลิซึม แต่ยังคงรักษาโครงสร้างเนื้อเยื่อของอาหารไว้ได้ ซึ่งหลักการสำคัญ คือ การเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวให้เป็นผลึกน้ำแข็ง เพื่อมิให้น้ำนั้นสามารถทำหน้าที่ต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมี โดยการจะเกิดผลึกได้นั้นต้องประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการก่อนิวเคลียสผลึก (nucleation) และขั้นตอนการเพิ่มขนาดของผลึก (crystal growth) (สายสนม, 2549)

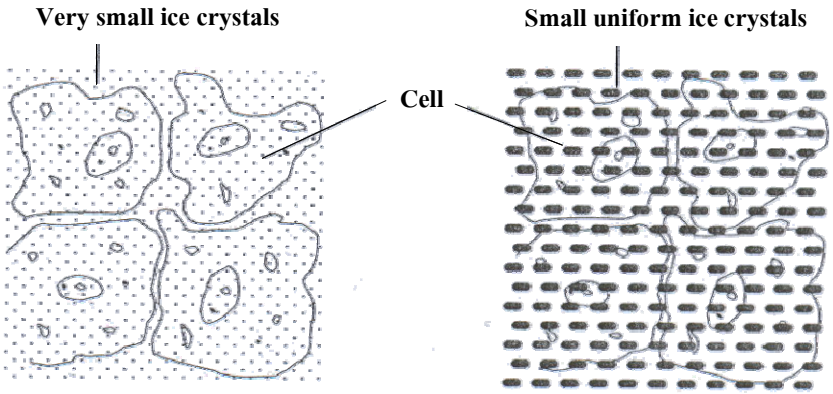
1. การก่อนิวเคลียสผลึก คือปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของน้ำมารวมตัวกันอย่างมีระเบียบจนเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ขึ้น ขั้นตอนหรือกลไกในการก่อนิวเครียสผลึกยังไม่มีคำอธิบายที่กระจ่าง แต่คาดว่าในช่วงแรกของการก่อนิวเครียสผลึกนั้นจะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวแล้วก็สลายตัวไป โดยขนาดของนิวเครียสที่เริ่มก่อขึ้นในช่วงนี้ เรียกว่า ขนาดวิกฤต (critical size) นิวเครียสจะเกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ในสภาวะเหมาะสม คือ ระดับอุณหภูมิของน้ำหรือสารละลายนั้นลดต่ำลงจนถึงจุดความเย็นยิ่งยวด (supercooling) ซึ่งจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง รูปแบบการก่อนิวเครียสผลึกจะเกิดได้ 2 แบบ คือ homogeneous nucleation ซึ่งเกิดขึ้นในน้ำบริสุทธิ์เท่านั้นไม่มีสารอื่นปะปนอยู่ จะเริ่มเกิดขึ้นโดยโมเลกุลของน้ำเรียงตัวกันเป็นอนุภาคเล็ก ๆ อีกแบบหนึ่ง คือ heterogeneous nucleation จะเกิดขึ้น

ในการแช่เยือกแข็งเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตทั่ว ๆ ไป โดยจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อผิวหน้าของอนุภาคนั้น มีสภาวะเหมาะสม โมเลกุลของน้ำเรียงตัวกันเป็นอนุภาคเล็ก ๆ และมีสารอื่นที่ปะปนอยู่มาฉาบบนผิวหน้าหรือเกิดขึ้นบนผิวหน้าบรรจุภัณฑ์ หรืออาจเกิดจากอนุภาคของสารที่ผสมอยู่ด้วยก็ได้

2. การเพิ่มขนาดผลึก เป็นปรากฏการณ์ต่อเนื่องจากการก่อนิวเคลียสผลึก การเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งจะเกิดได้ที่อุณหภูมิใกล้ ๆ กับจุดหลอมเหลว โดยโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนตัวเข้ามาเกาะอยู่กับนิวเครียสผลึกที่ก่อตัวแล้วมากกว่าที่จะก่อนิวเครียสผลึกขึ้นใหม่ เพราะโมเลกุลของน้ำในสภาวะที่เป็นของเหลวมีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ได้ในอัตราเร็วสูง และจะหยุดลงเมื่อกระทบกับผิวหน้าของนิวเครียสผลึก จากปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงทำให้อัตราการเพิ่มขนาดของผลึกสูงขึ้น

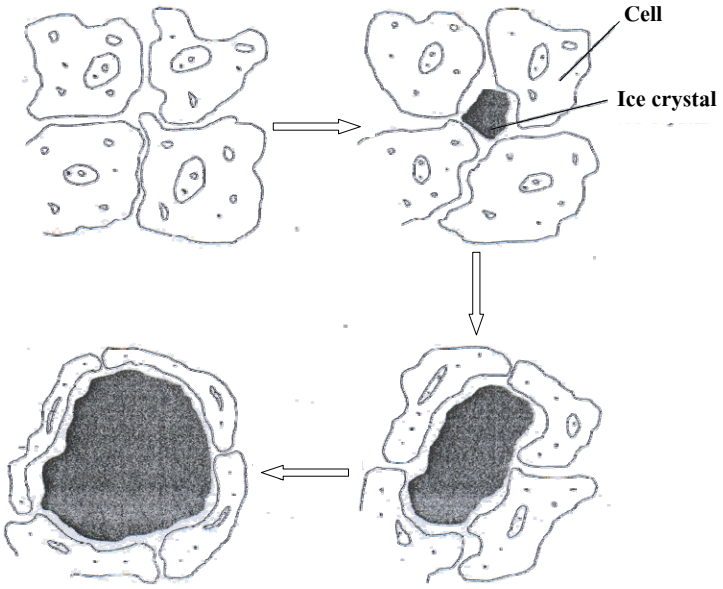
5.1 อัตราการแช่เยือกแข็ง

อัตราการแช่เยือกแข็ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลา ซึ่งอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งในการแช่เยือกแข็งนั้นมีความสำคัญต่อคุณภาพของอาหาร โดยตรง ทั้งนี้แนวคิดโดยทั่วไปเกี่ยวกับอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง คือ ยิ่งมีอัตราเร็วเท่าไหร่ก็ยิ่งดี ดังภาพที่ 3 แสดงการแช่เยือกแข็งแบบเร็วจะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กสม่ำเสมอ กระจายอยู่ทั่วทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ในขณะภาพที่ 4 แสดงการแช่เยือกแข็งแบบช้านั้นจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอกเซลล์ น้ำภายในเซลล์ถูกดึงมาเพิ่มขนาดของผลึก ทำให้เซลล์หดตัวลง เกิดการแตกของเซลล์ข้างเคียง และเกิดการสูญเสียน้ำรวมทั้งสารที่มีคุณค่าทางอาหารเมื่อผ่านการทำละลาย (thaw) โดยทั่วไปสิ่งที่เป็นตัวกำหนดการเติบโตของผลึกน้ำแข็งคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนในช่วงของการแช่เยือกแข็ง และอัตราการถ่ายเทมวลของน้ำที่เคลื่อนที่ไปยังผลึกที่โตขึ้นและของสารละลายที่เคลื่อนที่ออกจากผลึกในช่วงปลายของการตกผลึกเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น โดยเวลาที่ใช้สำหรับอาหารในการผ่านช่วงวิกฤตซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการตกผลึก เป็นตัวกำหนดทั้งขนาด และจำนวนของผลึกน้ำแข็ง คือ สามารถลดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ได้เมื่อใช้เวลาในการผ่านจุดนี้น้อย (กมลวรรณ, 2548)



ภาพที่ 3 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อโดยการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

ที่มา: Sun and Zheng (2006)



ภาพที่ 4 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อโดยการแช่เยือกแข็งแบบช้า

ที่มา: Sun and Zheng (2006)

อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งนับเป็นเรื่องสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อัตราการแช่เยือกแข็งมีหลายระดับ เช่น การแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (rapid หรือ quick หรือ fast freezing) การแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก (ultrarapid

freezing) สำหรับหลักในการอธิบายอัตราการแช่เยือกแข็งในระดับต่าง ๆ มีหลักการ ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้ (สายสนม, 2549)

1. การเปลี่ยนอุณหภูมิต่อหน่วยเวลา ถ้าอุณหภูมิลดลง 1°ซ ต่อนาที จัดได้ว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าอุณหภูมิลดลง 50°ซ ต่อนาที จัดได้ว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

2. เวลาที่ผ่านไปในช่วงที่ผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งและอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ถ้าอุณหภูมิในช่วงของ phase change กินเวลา 1 ชั่วโมง จัดเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าอุณหภูมิในช่วงของ phase change กินเวลา 1-2 นาที จัดเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

3. ลักษณะการเกิดชั้นของผิวหน้าของน้ำแข็ง (nature of ice front) ถ้ามีน้ำแข็งเกิดขึ้นเป็นแผ่นจนแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวได้ จัดว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าการเกิดผลึกน้ำแข็งเป็นจำนวนมากมายไม่มีชั้นแยกแสดงให้เห็นชัดเจนแต่สามารถแยกชั้นให้เห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ถ้าการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก

4. ความเร็วของการเกิดผิวหน้าน้ำแข็ง (velocity of ice front) อัตราการแช่เยือกแข็งตัดสินโดยอาศัยความเร็วของผิวหน้าน้ำแข็งที่เคลื่อนที่เข้าไปจากผิวนอกของผลิตภัณฑ์เป็นหน่วยระยะทางต่อเวลา (เซนติเมตรต่อชั่วโมง) เช่น ถ้าเกิดผิวหน้าน้ำแข็งด้วยอัตรา 0.1-0.3 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า ถ้าเกิดผิวหน้าน้ำแข็งด้วยอัตรา 0.3-1 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งปกติ ถ้าเกิดผิวหน้าน้ำแข็งด้วยอัตรา 1-10 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จัดเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

5. ตำแหน่งที่เกิดผลึกน้ำแข็ง ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าผลึกน้ำแข็งจะเกิดนอกเซลล์ แต่ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็วผลึกน้ำแข็งจะเกิดในเซลล์ด้วย

ส่วน International Institute of Refrigeration (IIR) (Ancos *et al.*, 2006) ระบุว่าอัตราการแช่เยือกแข็งสามารถคำนวณได้จาก การใช้ความลึก (เซนติเมตร) ของตัวอย่างจากผิวด้านนอกเข้าไปถึงใจกลางตัวอย่าง หารด้วยช่วงระยะเวลา (ชั่วโมง) โดยเริ่มคำนวณจากระยะเวลาเมื่อผิวด้านนอกตัวอย่างมีอุณหภูมิ 0°ซ จนถึงเวลาที่ใจกลางตัวอย่างมีอุณหภูมิ -10°ซ IIR กำหนดเกณฑ์ของอัตราการแช่เยือกแข็ง คือ ถ้าการแช่เยือกแข็งมีอัตราเร็วต่ำกว่า 1 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จัดว่าเป็นอัตราการ

แช่เยือกแข็งแบบช้า (slow) ถ้าการแช่เยือกแข็งมีอัตราเร็วเป็น 1-5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จัดว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบกึ่งเร็ว (semi-quick) ถ้าการแช่เยือกแข็งมีอัตราเร็วเป็น 5-10 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จัดว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (quick) ถ้าการแช่เยือกแข็งมีอัตราเร็วมากกว่า 10 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จัดว่าเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก (very quick)

5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง

สาเหตุการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต คือ (รัชนี, 2541)

5.2.1 กระบวนการเริ่มต้นและการเตรียมก่อนการแช่เยือกแข็ง

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารแช่เยือกแข็งประกอบด้วยผักและเนื้อสัตว์ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพตลอดเวลาเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ ดังนั้นจึงควรมีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดก่อนนำเข้ากระบวนการผลิต

5.2.2 ขั้นตอนระหว่างการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น การทำงานของเอนไซม์ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นก่อนที่จะนำอาหารมาทำการแช่เยือกแข็งควรมีการยับยั้งผลของการทำงานของเอนไซม์หรือควบคุมการผลิตให้เหมาะสม โดยมีระบบทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพและอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่ต่ำเพียงพอ เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการแช่เยือกแข็ง

5.2.3 การเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง

ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมี เช่น การเกิด freeze-burn เนื่องจากการสูญเสียความชื้นในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอุณหภูมิในระยะการเก็บรักษาแปรปรวน เป็นผลให้โครงสร้างภายในที่อยู่บริเวณผิวอาหารมีความหนาแน่นของความชื้นน้อยกว่าโครงสร้างภายในอาหารที่อยู่ลึกลงไป ทำให้น้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวและ

ออกสู่บรรยากาศรอบ ๆ ตัวอาหาร เกิดลักษณะผิวหน้าของอาหารแห้งและมีสีคล้ำลง หรือเกิดจากการบรรจุที่ไม่เหมาะสม สามารถป้องกันได้โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทนต่อการสูญเสียความชื้นที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ตลอดจนควบคุมอัตราการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด (รัชนี, 2541)

อุณหภูมิการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิต่ำทำให้จุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีลดลง แต่การแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาไม่ได้ทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ อุณหภูมิบางช่วงของการเก็บอาจมีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์บางชนิดได้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า -10°ซ -12°ซ และ -18°ซ จะยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และรา ตามลำดับ จุลินทรีย์แกรมบวกทนต่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งมากกว่าแกรมลบ นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์บางชนิดที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ยกเว้นจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียแกรมลบ เช่น คอลิฟอร์ม (*Coliform*) และ จุลินทรีย์ชนิดซัลโมเนลลา (*Salmonella* species) ส่วนใหญ่ถูกทำลายได้เกือบทั้งหมด ส่วนแบคทีเรียแกรมบวก เช่น แสตปฟิโลคอกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) และเอนเทอโรคอกคัย (*Enterococci*) และสปอร์ของราค่อนข้างทนทานต่อการแช่เยือกแข็ง แต่สปอร์ของแบคทีเรียโดย เฉพาะชนิดแบซิลลัส (*Bacillus* species) และคลอสตริเดียมสปีชีส์ (*Clostridium* species) เช่น คลอสตริเดียม บอทูลินัม (*C. botulinum*) ไม่ได้รับผลกระทบจากการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นต้องควบคุมด้วยก๊าซออกซิเจน ภาวะความเป็นกรด หรือรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (พลกฤษณ์, 2547; Kennedy, 2000)

อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งโดยทั่วไป คือ ประมาณ -18°ซ โดยพบว่าอุณหภูมิ -15°ซ เป็นอุณหภูมิที่น้ำในอาหารส่วนใหญ่กลายเป็นผลึกน้ำแข็งทั้งหมด สารต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์สามารถเคลื่อนที่ได้ยาก ปฏิกิริยาต่าง ๆ จึงเกิดขึ้นได้ยาก ส่งผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จุลินทรีย์ไม่สามารถดำเนินชีวิตอยู่ได้ และเอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ ทำให้สามารถรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้ แต่เนื่องจากในระหว่างการขนส่งและการกระจายสินค้า อาจมีผลทำให้อุณหภูมิของอาหารแช่เยือกแข็งสูงขึ้นได้ ดังนั้นจึงลดอุณหภูมิลงอีก -3°ซ เพื่อป้องกันการละลายของผลึกน้ำแข็งซึ่งส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ได้ และอุณหภูมิ -18°ซ เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Blond and Meste, 2004)

5.3 การทำละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

การทำละลายอาหารแช่เยือกแข็ง (thawing) หมายถึง กระบวนการที่ตรงข้ามกับการแช่เยือกแข็ง จัดเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ผลึกน้ำแข็ง

ละลายกลับสู่สภาพเดิม ก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปบริโภคหรือแปรรูปต่อไป โดยเวลาที่ใช้ในการทำละลายอาหารแช่เยือกแข็งเป็นเวลาที่เริ่มจากจุดที่อาหารมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการเก็บรักษาจนถึงจุดที่ไม่มีผลึกน้ำแข็งคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ หรืออาจอธิบายได้ว่า เป็นเวลาที่อุณหภูมิใจกลางของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1 หรือ 0°ซ (มนต์ราม, 2550) การทำละลายอาหารแช่เยือกแข็งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปล่อยให้ละลายตามธรรมชาติที่อุณหภูมิ 18-20°ซ การปล่อยให้น้ำไหลผ่านผลิตภัณฑ์ และการทำละลายในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 4-6°ซ เป็นต้น (รัชนี, 2541)

6. บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง

บรรจุภัณฑ์มีบทบาทสำคัญต่อการคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอกที่อาจเกิดขึ้นได้หลังการผลิตและปิด โดยทั่วไปบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพของอาหาร โดยบรรจุภัณฑ์จะไปควบคุมปัจจัยทางด้านการแปรรูป การเก็บ การขนส่งที่ส่งผลต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาหารเพื่อควบคุมให้มีค่าอยู่ในระดับที่กำหนดไว้ สำหรับปัจจัยทางด้านการเก็บรักษาและการขนส่งที่ต้องควบคุม เช่น แสง ความเข้มข้นของออกซิเจน ความเข้มข้นของความชื้น การถ่ายเทความร้อน และการปนเปื้อนจากสารต่าง ๆ เป็นต้น (รุ่งนภาและอนุวัตร, 2549)

บรรจุภัณฑ์มีหน้าที่หลายประการ ที่สำคัญอาจสรุปได้ดังนี้

1. รองรับและบรรจุผลิตภัณฑ์ (containment) บรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่ในการรองรับและบรรจุผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใน เพื่อให้สามารถถ่ายโอนขนส่งผลิตภัณฑ์จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ปลอดภัย ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค

2. ปกป้องและป้องกันผลิตภัณฑ์ (protection and preservation) บรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่ปกป้องผลิตภัณฑ์จากความเสียหายและอันตรายต่างๆ เช่น จากแรงกระทำทางกล สภาวะแวดล้อม สิ่งมีชีวิต หรือการปนเปื้อนจากสิ่งอื่น ๆ เป็นต้น

3. สื่อสารและให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ (communication) บรรจุภัณฑ์ยังทำหน้าที่ในการสื่อสารและให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคตลอดสายการกระจายสินค้า นอกจากนั้นบรรจุภัณฑ์ยังใช้เป็นสื่อทางการตลาดของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

4. ให้ความสะดวกในการใช้งาน (convenience and use) บรรจุภัณฑ์ช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งานให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความสำคัญมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบรรจุเพื่อการขายปลีก (มยุรี, 2544)

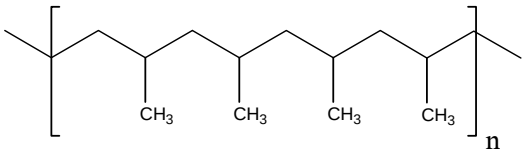
พลาสติกที่ใช้ในการบรรจุมีทั้งรูปแบบที่เป็นแผ่นบางเรียกว่า “ฟิล์มพลาสติก” ซึ่งนิยมใช้ในลักษณะของถุงหรือการห่อ และรูปแบบของการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์รูปทรงต่าง ๆ กัน เช่น ขวด กล่อง ถัง ลัง เป็นต้น วัสดุที่ใช้อาจทำด้วยพลาสติกชนิดเดียวกันล้วนๆ หรือใช้ร่วมกับวัสดุอื่น ซึ่งเป็นพลาสติกต่างชนิดกันหรือกระดาษ หรือแผ่นอะลูมิเนียมได้ สำหรับคุณสมบัติของพลาสติกบรรจุอาหารที่สำคัญคือ ต้องสัมผัสกับอาหารได้โดยไม่ก่อพิษภัยให้แก่ผู้บริโภค และคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการป้องกัน (barrier property) เช่น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อัตราการซึมผ่านของก๊าซ การต้านทานไขมัน เป็นต้น คุณสมบัติด้านความแข็งแรง (strength property) การต้านแรงดึงขาด การต้านแรงกระแทก ความต้านทานต่อความร้อนหรือความเย็น เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติด้านการใช้งาน (functional property) เช่น ความใส ความสามารถในการปิดผนึกด้วยความร้อน ความสามารถในการใช้กับเครื่องจักร เป็นต้น (พิชิต, 2542)

ในการเลือกวัสดุสำหรับบรรจุอาหารแช่เยือกแข็งจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่สามารถยังคงความยืดหยุ่นได้ที่อุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง ไม่เปราะแตก และไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งนิยมบรรจุในถุงพลาสติก ความหนาของชั้นพลาสติกก็มีผลในการปกป้องผลิตภัณฑ์ ฟิล์มพลาสติกที่ใช้สำหรับบรรจุอาจมีการเคลือบหลายชั้นโดยแต่ละชั้นประกอบไปด้วยพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งการเคลือบด้วยพอลิเมอร์หลายชั้นนี้มีข้อดีในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ (Yam et al., 2004) พลาสติกที่ใช้บรรจุอาหารแช่เยือกแข็ง เช่น โพลีเอทิลีน (polyethylene) เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ (ethylene vinyl acetate copolymer) โพลีโพรพิลีน (polypropylene) โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) โพลีไวนิลลิดีนคลอไรด์ (polyvinylidene chloride) โพลีเอทิลีนเทอร์เลปทาเลท (polyethyl terephthalate) โพลีสไตน์ลีน (polystyrene) และไนลอน (nylon) (Lee, 2006)

6.1 โพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP)

โพลีโพรพิลีนมักรู้จักในนามถุงร้อน มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 5 นิยมใช้ลักษณะเป็นรูปของฟิล์ม มีความยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่าตัว ฉีกขาดยาก มีคุณสมบัติใส มีน้ำหนักเบามาก เปราะที่อุณหภูมิต่ำ ป้องกันความชื้นและป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ และป้องกันการสูญเสียกลิ่นได้ดี

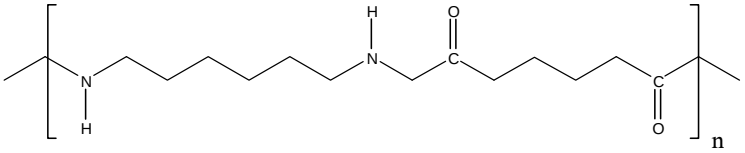
แต่การป้องกันการซึมผ่านของอากาศยังไม่ดีเท่าพลาสติกบางชนิด โดยแสดงลักษณะทางกายภาพดังตารางที่ 4



ภาพที่ 5 สูตรโครงสร้างของโพลีโพรพิลีน

6.2 ไนลอน (nylon)

ไนลอนหรือพอลิเอไมด์ (polyamide, PA) มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 6 ไนลอนเป็นพลาสติกชนิดนี้มีน้ำหนักเบา ราคาแพง มีความทนทานต่อการเสียดสีสูง รับแรงดึงแรงอัดได้ดี ทนความร้อน ทนการขีดข่วน เป็นฉนวนไฟฟ้าแต่ไม่เหมาะสำหรับไฟฟ้าแรงสูง ทนกรดชนิดอ่อน ทนด่างได้ทั้งชนิดอ่อนและเข้ม ทนสารเคมี เช่น น้ำมัน แอลกอฮอล์ ไขมัน ดูดซึมน้ำได้บ้าง มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจน และรักษากลิ่นได้ด้วย โดยทั่วไปเนื้อของไนลอนมีความโปร่งแสง ในรูปของเส้นใยจะโปร่งใส สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ โดยแสดงลักษณะทางกายภาพดังตารางที่ 4



ภาพที่ 6 สูตรโครงสร้างของไนลอน

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของโพลีโพพิลีนและไนลอน

คุณสมบัติ	โพลีโพพิลีน	ไนลอน
ความใส	โปร่งใส	โปร่งแสง
ความถ่วงจำเพาะของพลาสติก (กรัมต่อลบ.ซม.)	0.89-0.90	1.13-1.20
ปริมาตร (ลบ.นิ้วต่อปอนด์)	30.6	24.3
ความคงทนต่อแรงดึง (ปอนด์ต่อตร.นิ้ว)	5,500	12,000
ความคงทนต่อแรงอัด (ปอนด์ต่อตร.นิ้ว)	8,000	12,500
ความคงทนต่อแรงกระทบ (ฟุต-ปอนด์)	1.5	2.0
ความคงทนต่อความร้อน (องศาฟาเรนไฮต์)	275	250-300
ความคงทนต่อกรดอ่อน	ได้	ได้
ความคงทนต่อกรดแก่	ถูกทำลายอย่างช้าๆจาก Oxidizing Acids	ไม่ได้
ความคงทนต่อด่าง	ได้	ดี
ความคงทนต่อสารละลาย	ทนได้ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 175°ฟ	ดี ยกเว้น ฟีนอล (phenols) และกรดฟอร์มิค (formic acids)
ความคงทนต่อแสงแดด	พอใช้	ไม่ดี สีซีด
ความสามารถในการซึมผ่าน (ลบ.ซม.-ไมโครเมตรต่อตร.ม.-วัน-กิโลปาสคาล)		
ออกซิเจน (O_2)	620	25
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	2,100	50
ไนโตรเจน (N_2)	80	3.5
ไอน้ำ (H_2O)	44,000	120

ที่มา: พิชิต (2542)

6.3 รีทอร์ต เพาช์ (retort pouch)

รีทอร์ต เพาช์เป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวที่สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์แล้วนำไปฆ่าเชื้อได้ด้วยความร้อน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานเป็นปี เทคโนโลยีนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนการใช้กระป๋องโลหะ รูปแบบของรีทอร์ต เพาช์ ที่นิยมที่สุดคือ เป็นถุงประกอบด้วยวัสดุอ่อนตัว ซึ่งทำจากฟิล์มพลาสติกหลายชิ้น มักมีการเสริมคุณสมบัติให้สามารถสกัดกั้นไอน้ำและก๊าซได้ดี ด้วยการใช้ร่วมกับอะลูมิเนียมฟอยล์ คุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆของรีทอร์ต เพาช์ ได้แก่ ต้องทนอุณหภูมิช่วงต่ำกว่า 0°ซ และสูงจนถึง 121°ซ ได้ ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถรักษากลิ่นและรสชาติของอาหารไว้ได้ตลอดระยะเวลาการจำหน่าย องค์ประกอบของถุงรีทอร์ต เพาช์ ผลิตจากพลาสติกลามิเนตกับอะลูมิเนียมฟอยล์ หรือพลาสติกกับพลาสติก ส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัสดุ 4 ชั้น อัดติดกันดังนี้

ชั้นที่ 1 หรือชั้นที่อยู่นอกสุด เป็นพลาสติกชนิดโพลิเอสเทอร์ (polyester) มีความหนาประมาณ 12 ไมครอน มีลักษณะใส ไม่ละลายน้ำ กรด ด่าง แอลกอฮอล์ น้ำมันและไขมัน สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงที่ 200°ซ และต่ำสุดได้ที่ -40°ซ มีความแข็งแรงทนทานต้านแรงกระแทกได้ มีความเหนียวไม่ฉีกขาดง่าย และสามารถพิมพ์ข้อความหรือภาพกราฟฟิกได้โดยไม่หลุดลอก

ชั้นที่ 2 เป็นพลาสติกชนิดไนลอน มีความหนา 15-25 ไมครอน มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี แต่ป้องกันไอน้ำได้ปานกลาง แข็งแรง ไม่ฉีกขาดง่าย และทนทานต่อรอยขูดขีดที่อาจเกิดขึ้นได้

ชั้นที่ 3 เป็นชั้นของอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) มีความหนา 7-9 ไมครอน ชั้นนี้มีสมบัติป้องกันแสง อากาศ หรือกลิ่นได้ดี และยังเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี มีความเหนียว และทนต่อการฉีกขาด

ชั้นที่ 4 เป็นพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน เป็นชั้นที่อยู่ในสุด มีความหนา 70 – 100 ไมครอน มีลักษณะใส ไม่ละลายในน้ำ กรด – ด่าง และแอลกอฮอล์ มีสมบัติป้องกันการรั่วซึม มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง สามารถปิดผนึกได้ดี และเนื่องจากต้องสัมผัสกับอาหารจึงไม่ควรทำปฏิกิริยากับอาหาร

ในระหว่างชั้นของพลาสติกแต่ละชั้นจะมีชั้นของกาวเป็นตัวทำหน้าที่ยึดพลาสติกแต่ละชั้นให้ติดกัน ซึ่งควรมีความหนาในแต่ละชั้นอย่างน้อย 3 ไมครอน เพื่อให้แน่ใจว่าการยึดติดมีความแข็งแรงเพียงพอ (สุภัตรา, 2548) โดยรีทอร์ต เพาช์ที่มีคุณภาพดีจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของ Systeme International d'Unites (S.I.) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อกำหนดคุณสมบัติของรีทอร์ต เพาช์

คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด
แรงคงทนระหว่างชั้นที่เชื่อมติด (กรัมต่อ 15 มม.)	400-700
ความแข็งแรงของรอยผลึก (กก.ต่อ 15 มม.)	4-5
อุณหภูมิที่ใช้เชื่อมผนึก (องศาเซลเซียส)	150-230
ความคงทนต่อแรงดันทะลุ (กก.ต่อตร.ซม.)	3.5-7
การต้านทานแรงฉีกขาด (กรัมต่อมม.)	50-90
ความคงทนต่อการยืดตัว (เปอร์เซ็นต์)	80-100
ความคงทนต่อแรงดึง (กก.ต่อ 15 มม.)	5-11
อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (ลบ.ซม.ต่อลบ.ม.ต่อวันต่อ 1 บรรยากาศ)	0-118
อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (กรัมต่อลบ.ม.ต่อวัน)	0-3
อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ (องศาเซลเซียส)	120-135

ที่มา: ดนุพล (2549)

7. การเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในผลไม้แช่เยือกแข็ง

ในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งและการขนส่ง มีปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร เช่น การแปรผันของอุณหภูมิ การลดลงของค่าวอเตอร์แอกตีวิตี้ (water activity, a_w) ออกซิเจน และแสง ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและกายภาพ การเกิดการเสื่อมเสียในด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และสี เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้อายุการเก็บรักษาลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าผ่านการแช่เยือกแข็งที่ไม่เหมาะสมหรือวัตถุดิบที่นำมาผ่านกระบวนแช่เยือกแข็งนั้นมีคุณภาพต่ำ การเปลี่ยนแปลงแบบขึ้น ๆ ลง ๆ ของอุณหภูมิในระหว่างเก็บรักษาเป็นสาเหตุให้เกิดกระบวนการตกผลึกน้ำแข็งซ้ำ (recrystallization) ทำให้เกิดลักษณะการเป็นเนื้อทราย (sandy) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในอาหารจำพวกไอศกรีม และเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของแข็งและของเหลวของไขมันในอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ นอกจากอุณหภูมิแล้วยังมีปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ เช่น ออกซิเจน ค่าวอเตอร์แอกตีวิตี้ และ พีเอช มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและลักษณะการทำงานของเอนไซม์ในทางลบ การเสื่อมเสียของกลิ่นรสเกี่ยวข้องกับลักษณะการเกิดกลิ่นหืน รสชาติขมหรือให้ลักษณะกลิ่นคาวเกิดเนื่องจากโครงสร้างสารที่มีน้ำหนักมวลโมเลกุลต่ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันหรือจากการเสื่อมเสียของโปรตีน เอนไซม์บางชนิด เช่น ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) จะมีผลต่อคุณภาพทางด้านกลิ่นรสในอาหารแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน (Ponce-Alquicira, 2004)

การแช่เยือกแข็งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านเนื้อสัมผัสซึ่งทำให้เกิดความเสียหายในผักและผลไม้และผลิตภัณฑ์ เช่น มันฝรั่งบด บล็อกโคลี่ บลูเบอรี่ และสตรอเบอรี่ ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาโดยมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอมีผลทำให้เซลล์ถูกทำลายโดยการตกผลึกใหม่ของน้ำแข็งและเกิดการสูญเสียน้ำได้ภายในเซลล์ได้ ซึ่งอาจมีผลทำให้โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งสัมผัสกับออกซิเจน ดังนั้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ขึ้น เช่น ออกซิเดชั่น เกิดการสูญเสียวิตามิน และเกิดการเสื่อมเสียของกลิ่นรส การที่โครงสร้างของเซลล์ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งถูกทำลายมากขึ้นทำให้ของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในเกิดการเคลื่อนย้าย มีผลทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นขึ้นในระหว่างการทำละลายผลิตภัณฑ์อาหาร (Ponce-Alquicira, 2004)

กลุ่มของสารระเหยให้กลิ่นของผลไม้ (แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ อัลดีไฮด์ คีโตน กรด ฟูแรน เทอร์พีน ฯลฯ) เป็นผลผลิตมาจากวิถีเมตาบอลิซึม (metabolic pathways) โดยชนิดและปริมาณของกลุ่มสารระเหยขึ้นกับขั้นตอนในการเก็บเกี่ยว ช่วงระยะการเก็บรักษา และปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พันธุ์ และกระบวนการในการแปรรูป แม้ว่ากระบวนการแปรรูปโดยวิธีการแช่เยือกแข็งจะเป็นการรักษากลิ่นของผลไม้ไว้ได้ดี และมีกลิ่นใกล้เคียงกับผลไม้สด แต่การแช่เยือกแข็งและทำละลายก็มีผลทำให้กลิ่นรสของผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นการคัดเลือกชนิดและพันธุ์ของผลไม้ให้เหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปโดยวิธีการแช่เยือกแข็งจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อจะให้ได้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพ (Ancos *et al*., 2006)

Deng *et al.* (1996) ศึกษาการเกิดกลิ่นผิดปกติในสตรอเบอรี่แช่เยือกแข็ง โดยพบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ มีผลทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในสตรอเบอรี่แช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 และ -80°ซ แล้วจึงทำละลาย ซึ่งการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ เป็นสาเหตุทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่มากขึ้นจึงทำลายเซลล์ให้เกิดความเสียหายมากขึ้นและทำให้ ค่าพีเอชในไซโตซอล (cytosol) ลดลง ซึ่งไซโตซอล คือ ส่วนของของเหลวทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ การที่ค่าพีเอชลดลงมีผลทำให้เกิดความเป็นกรดซึ่งอาจไปทำลายโครงสร้างในไซโตซอล ดังนั้นมีผลทำให้ซัลไฟด์ไอออน (sulphide ion) ที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งอยู่ในไซโตซอลถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายขึ้น จึงทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติขึ้น

Skrede (1996) รายงานว่า เกิดการเสื่อมเสียของกลิ่นสตรอเบอรี่ 2 พันธุ์หลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสตรอเบอรี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาเพียง 1 วัน โดยในสตรอเบอรี่พันธุ์แรกเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากที่สุดหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน ขณะที่อีกพันธุ์เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นสูงสุดหลังจากผ่านการเก็บรักษาเพียง 1 สัปดาห์ จากผลการทดลองโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟีแสดงให้เห็นว่าสารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ซึ่งเป็นสารระเหยกลุ่มหลักในสตรอเบอรี่สดจะมีปริมาณลดลงในสตรอเบอรี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ส่วนสารระเหยกลุ่มสารประกอบคาร์บอนิลในสตรอเบอรี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายยังคงปริมาณใกล้เคียงสตรอเบอรี่สด และไม่พบความเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในสตรอเบอรี่หลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

Skrede (1996) รายงานว่า จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสน้ำฝรั่งเข้มข้นที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 0, -10 และ -20°ซ และเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน มีผลทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติและคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำฝรั่งเข้มข้นสด

จากรายงานโครงงาน IRPUS การแช่เยือกแข็งสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองและพันธุ์ปัตตาเวีย (กุลธิดาและคณะ, 2547) พบว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสของสับปะรดหลังแช่เยือกแข็งมีค่าลดลงจากคะแนนของสับปะรดสด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้กลิ่นรสของสับปะรดเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสนี้ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง

จากการตรวจเอกสารสามารถสรุปได้ว่า การเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในผลไม้แช่เยือกแข็งสามารถเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ การปลดปล่อยของสารบางชนิด (Deng *et al*., 1996) และเกิดการสูญเสียของสารให้กลิ่นที่สำคัญในผลไม้ (Skrede, 1996)

8. จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (electronic nose)

จมูกอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์จำแนกกลิ่นที่ประกอบด้วยเซนเซอร์เคมิคอล-อิเลคทรอนิคส์ (electronic chemical sensors) ซึ่งตอบสนองต่อกลิ่นหรือสารระเหยเหนือตัวอย่าง โดยมีรูปแบบที่มีความจำเพาะเจาะจง สามารถตรวจสอบได้ทั้งกลิ่นพื้นฐานและกลิ่นที่มีความซับซ้อน โดยสารระเหยจะผ่านเข้าสัมผัสกับส่วนเซนเซอร์อาร์เรย์ (sensor array) เข้าสู่เซนเซอร์ชนิดเมททอลออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ (metal oxide semi-conductor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวสูงในการแยกความแตกต่างของสารระเหย และมีความไวต่อสารระเหยแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เมื่อเซนเซอร์ดูดซับสารระเหยทำให้ความต้านทานไฟฟ้า (conductometric chemosensor) เปลี่ยนไป จากนั้นเซนเซอร์จะส่งสัญญาณอิเลคทรอเคมิคอล (electrochemical) ไปยังระบบวิเคราะห์เพื่อวัดสัญญาณ เครื่องจะประมวลผลให้รู้ถึงชนิด ประเภทหรือสารประกอบของกลิ่น รวมทั้งสามารถบอกปริมาณหรือระดับความเข้มข้นของกลิ่นได้ ภาพจมูกอิเล็กทรอนิกส์แสดงในภาพผนวกที่ ก1

โดยทั่วไปข้อมูลที่ได้จากการส่งสัญญาณของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะแสดงออกมาในรูปแบบของค่าทางสถิติ เช่น Principal Component Analysis (PCA), Discriminant Factorial Ananlysis (DFA) และ Partial Least Squares (PLS) เป็นต้น (Aishima, 2004; Zhu *et al*., 2004)

ในปัจจุบันมีการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อม งานทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมอาหาร มีงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์วัดกลิ่นในอาหาร เช่น เมล่อน แพร์ พีช แอปเปิ้ล และผลไม้ชนิดอื่น ๆ (Saevels *et al.*, 2004)

Gomez *et al.* (2008) ศึกษาการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบกลิ่นของมะเขือเทศที่ระยะการเก็บรักษาต่าง ๆ โดยนำมะเขือเทศมาบรรจุใส่ถุงพลาสติกเปรียบเทียบกับที่บรรจุในกล่องกระดาษ เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20°ซ เป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมะเขือเทศมาตรวจวัดกลิ่น โดยการแบ่งกลุ่มของกลิ่นแสดงออกมาในรูปแบบของค่าทางสถิติ คือ Principal Component Analysis (PCA) และ Linear Discriminant analysis (LDA) พบว่า การใช้ PCA และ LDA สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างมะเขือเทศที่เก็บรักษาในกล่องกระดาษเป็นเวลาต่าง ๆ ออกเป็น 5 กลุ่มอย่างชัดเจน ส่วนการใช้ PCA และ LDA แบ่งกลุ่มมะเขือเทศที่เก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกนั้น พบว่า การแบ่งกลุ่มโดยใช้ PCA ภาพกราฟตัวอย่างที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน มีบางส่วนที่ซ้อนทับ (overlap) กันกับตัวอย่างที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 และ 6 วัน แต่ตัวอย่างที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 และ 6 วัน มีภาพกราฟที่แยกออกจากกัน ส่วนการแบ่งกลุ่มโดยใช้ LDA พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มของกลิ่นมะเขือเทศที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันออกจากกันได้อย่างชัดเจน ยกเว้นที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่างที่ 3 และ 6 วัน ซึ่งภาพกราฟมีการซ้อนทับกัน

ข้อดีของจมูกอิเล็กทรอนิกส์

1. ใช้งานง่าย ไม่ต้องมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ไม่ต้องใช้สารมาตรฐาน
2. ใช้เซนเซอร์ในการจำแนก ซึ่งเซนเซอร์แต่ละชนิดมีความจำเพาะเจาะจง ทำให้สามารถแยกสารออกเป็นกลุ่มได้
3. ใช้เวลาในการวิเคราะห์รวดเร็ว (ประมาณ 1-5 นาที)
4. มีโปรแกรมที่สามารถแสดงผล วิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลได้ในตัวเครื่อง ทั้งลักษณะทางคุณภาพและปริมาณ
5. ใช้สถิติในการวิเคราะห์ผล เช่น PCA, PLS, SIMGA และ SQC เป็นต้น
6. สามารถสร้างมาตรฐานกลิ่นของผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรมได้

9. ก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)

ก๊าซโครมาโตรกราฟี หรือที่นิยมเรียกชื่อย่อกันว่าจีซี (GC) เป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการแยกสารทางโครมาโตรกราฟี โดยที่โครมาโตรกราฟีทุกรูปแบบเกี่ยวข้องกับการแจกแจง (distribution) หรือ partition ของสารประกอบใด ๆ ระหว่างเฟส (phase) ที่แตกต่างกันสองเฟส คือ เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) และเฟสคงที่ (stationary phase) ในของผสมสารประกอบหลาย ๆ อย่าง หรือแบ่งองค์ประกอบอยู่แตกต่างกันไประหว่างเฟสสองเฟส ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายสัมพัทธ์ (relative solubility) ในแต่ละเฟส เมื่อสารนั้นถูกเปลี่ยนให้อยู่ในเฟสก๊าซแล้วจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเฟสที่คงที่ โดยอาศัยการพาไปของเฟสที่เคลื่อนที่ หรือก๊าซพา (carrier gas) ซึ่งส่วนใหญ่เลือกใช้ฮีเลียม (helium) สารจะถูกเหนี่ยวรั้งมากน้อยแตกต่างกันไป เนื่องจากความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันและจะถูกแยกออกจากกัน สารใดที่มีความสามารถในการละลายในเฟสคงที่มากกว่า ก็จะใช้เวลามากกว่าในการเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์ เทคนิคนี้ใช้แยกสารที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นเฟสก๊าซได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง (ไม่เกิน 450°ซ) ถ้าสารใดเปลี่ยนให้เป็นเฟสก๊าซยาก ก็อาจใช้เทคนิคอื่น ๆ บางอย่างเข้าช่วย เช่น อาศัยปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนให้เป็นอนุพันธ์อื่น ๆ หรืออาจใช้หลักการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) (มงคล, 2537; แม้น, 2534)

เมื่อสารที่เราต้องการแยกผ่านออกมาจากคอลัมน์จำเป็นจะต้องผ่านดีเทคเตอร์ (detector) ซึ่งทำหน้าที่บ่งบอกว่ามีสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือมีสารอื่นที่แตกต่างไปจากก๊าซพาออกมาจากคอลัมน์หรือไม่ ถ้ามีก็จะสามารถวัดได้ว่ามีปริมาณเท่าใดด้วย ดังนั้นดีเทคเตอร์จึงต้องเป็นเครื่องมือที่มีลักษณะเฉพาะ สามารถให้สัญญาณกับสารต่าง ๆ ได้ ให้สภาพไวที่สูงพอ มีการตอบสนองดีในช่วงความเข้มข้นของสารที่กว้างพอ ดีเทคเตอร์มีหลายชนิด เช่น เทอร์มัลคอนดักติวิตี (thermal conductivity) เฟลมไอออไนเซชั่น (flame ionization) และแมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry) (แม้น, 2534)

แมสสเปกโตรเมตรีดีเทคเตอร์สามารถระบุข้อมูลทางโครงสร้างของสารหรือสามารถบ่งชี้ถึงเอกลักษณ์ (identity) ของสารได้ ซึ่งหลักการทำงานของเครื่อง คือ เมื่อเครื่องก๊าซโครมาโตร-กราฟีทำหน้าที่แยกสารผสมแล้วส่งโมเลกุลของสารตัวอย่างที่อยู่ในสถานะก๊าซเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรเมตรีดีเทคเตอร์ จากนั้นเครื่องจะไอออไนซ์ (ionize) ไอของโมเลกุลนั้น แล้วผ่านขั้นตอนของการวิเคราะห์มวลและตรวจวัดไอออน จากนั้นจึงเกิดแมสสเปกตรัม (mass spectrum)

ขึ้น ซึ่งสามารถใช้ในการบ่งบอกเอกลักษณ์ของโมเลกุลได้ ดังนั้นการเชื่อมต่อก๊าซโครมาโตรกราฟีเข้ากับแมสสเปกโตรเมตรีทำให้สามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ของสารผสมและได้ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบและโครงสร้างต่าง ๆ ของสารผสมนั้น (มงคล, 2537; ศักดิ์สิทธิ์, 2543)

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นโดยใช้เทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่เรียกว่า solid phase microextraction (SPME) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารระเหยเหนือตัวอย่าง (headspace) ในการสกัดและเก็บสารตัวอย่างที่ได้รับความนิยมมากในด้านเคมีวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว และไม่ต้องใช้ตัวทำละลายในการสกัดสาร อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ใช้ได้กับสารตัวอย่างที่มีคุณสมบัติเป็นสารที่ระเหยได้ (volatile compounds) ที่อยู่ในรูปของก๊าซ ของแข็ง และของเหลว หลักการทำงานของเทคนิค SPME คือ สารพอลิเมอร์ที่เคลือบบนไฟเบอร์ (fiber) จะทำหน้าที่ดูดซับ (adsorption) สารตัวอย่างที่เป็นสารระเหยให้กลิ่น (volatile compounds) ในขวดเก็บตัวอย่าง ซึ่งในการดูดซับต้องควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาให้เหมาะสม ภายหลังการดูดซับ นำไฟเบอร์มาคาย (desorption) กลิ่นใน injector port ของเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี ซึ่งมีความร้อนสูงเพียงพอที่จะทำให้สารให้กลิ่นที่ถูกดูดซับบนไฟเบอร์ระเหยออกมาเข้าสู่คอลัมน์ได้หมด เพื่อทำการ desorption สารตัวอย่าง และนำมาวิเคราะห์ผล สารพอลิเมอร์ที่เคลือบบนไฟเบอร์มีหลายชนิด การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ มีการประยุกต์ใช้เทคนิค SPME ในอาหาร เครื่องดื่ม และผักผลไม้ชนิดต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ส้ม แอปเปิ้ล มะเขือเทศ สตรอเบอรี่ รวมทั้งมีการใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในไวน์ เป็นต้น (Gomez-Ariza *et al*., 2004)

Gomez-Ariza *et al*., (2004) ศึกษากลิ่นและการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในน้ำส้มคั้นสดและน้ำส้มเข้มข้นที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง โดยใช้วิธี pervaporation ร่วมกับการใช้เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี พบสารให้กลิ่นในน้ำส้ม คือ ethyl butanoate, limonene, linalool, α-pinene, geranial, neral และ α-terpineol ซึ่ง α-terpineol เป็นสารที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในผลิตภัณฑ์จากส้มที่ผ่านการเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่ง โดยจากผลการทดลอง พบว่า น้ำส้มเข้มข้นที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมีปริมาณ α-terpineol สูงกว่าน้ำส้มคั้นสด

Lamikanra and Richard (2004) ศึกษาผลของการฉายรังสีอัลตร้าไวโอเลต เป็นเวลา 15 นาที เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อสารระเหยให้กลิ่นในสับปะรดตัดแต่ง โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี จากเทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบ SPME โดยใช้ไฟเบอร์ชนิด polydimethylsiloxane (PDMS) หนา 100 ไมโครเมตร พบว่า สับปะรดสดมีสารระเหยให้กลิ่นทั้งหมด 18 ชนิด การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 24

ชั่วโมง และการฉายรังสีอัลตร้าไวโอเลตเป็นเวลา 15 นาที มีผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ลดลง และปริมาณโคปีน (copene) เพิ่มขึ้น

ข้อดีของก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

1. เป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ fingerprint ของเลขมวล (mass number) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ใน library ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคนี้มาใช้กันอย่างแพร่หลาย

2. ใช้คอลัมน์ในการจำแนก โดยใช้หลักการละลายในเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ ซึ่งสารที่ละลายได้ดีจะเคลื่อนที่ช้า ส่วนสารที่ละลายได้ไม่ดีจะเคลื่อนที่เร็ว ทำให้สามารถแยกชนิดของสารผสมต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างชัดเจน

3. แสดงผล วิเคราะห์และประมวลข้อมูลออกมาได้อย่างละเอียด

10. การลดปัญหาการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในผลไม้แช่เยือกแข็ง

การลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของอาหารแช่เยือกแข็งโดยเฉพาะในผักและผลไม้ ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการให้ความร้อนก่อนผ่านการแช่เยือกแข็ง ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการให้ความร้อน คือ เพื่อยับยั้งเอนไซม์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา เช่น สี กลิ่น รส และคุณค่าทางอาหาร เอนไซม์ส่วนใหญ่ที่ต้องการยับยั้ง เช่น เพอร์รีอกซิเดส (peroxidase) แคทตะเลส (catalase) และไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) (Haard, 1997) นอกจากนั้นข้อดีของการให้ความร้อน คือ ลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งจะช่วยลดปริมาณอากาศที่อยู่ในเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในระหว่างการแช่เยือกแข็ง เก็บรักษา และการทำละลายผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนที่สูงเกินไป มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านเนื้อสัมผัส สี กลิ่น หรือการสูญเสียคุณค่าทางอาหารได้ ดังนั้นจึงควรหาสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้อยที่สุด (Skrede, 1996; Wang *et al*., 2008)

การให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์โดยทั่วไปใช้วิธีจุ่มในน้ำร้อนหรือใช้ไอน้ำ วิธีการให้ความร้อนควรทำอย่างรวดเร็วซึ่งต้องควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาของการให้ความร้อนเพื่อให้เพียงพอต่อการยับยั้งเอนไซม์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์ที่ต้องการยับยั้ง และชนิดของวัตถุดิบ

รวมทั้งระยะการสุกของวัตถุดิบประเภทผลไม้ และหลังจากผ่านการให้ความร้อนแล้วต้องนำวัตถุดิบนั้นมาให้ความเย็นทันที เช่น พ่นหรือจุ่มในน้ำเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของวัตถุดิบลง ซึ่งถ้าอุณหภูมิหรือระยะเวลาการให้ความร้อนสูงเกินไปจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การให้ความร้อนจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถ้าผลิตภัณฑ์มีลักษณะถูกตัดแบ่งเป็นชิ้นขนาดเล็กก่อนการให้ความร้อน เช่น เป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า เป็นวงกลม เป็นแผ่น หรือผ่าครึ่ง (Torreggiani and Maestrelli, 2006)

Jaworska and Bernas (2009) ศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่เห็ด (*Boletus edulis*) ก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยนำเห็ดมาลวกที่อุณหภูมิ 96-98°ซ เป็นเวลา 3 นาที แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -35°ซ จนกระทั่งอุณหภูมิของเห็ดเท่ากับ -25°ซ จากนั้นนำไปเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และกลิ่นทุก ๆ 4 เดือน พบว่า เห็ดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ได้รับการยอมรับทางด้านสี กลิ่น และรสชาติ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาสูงสุดเพียง 4 เดือน แต่เห็ดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งได้รับการยอมรับแม้เก็บรักษานานถึง 12 เดือน การให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งจึงเป็นวิธีที่ช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งไว้ได้

Skrede (1996) พบว่า การให้ความร้อนแก่กล้วยก่อนผ่านการแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาคุณภาพของกล้วย โดยนำกล้วยที่ปอกเปลือกแล้วไปแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 11 นาที แล้วนำไปแช่ในน้ำผสมน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปตัดเป็นชิ้นเล็ก จากนั้นทำการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลอง พบว่า การให้ความร้อนจะช่วยยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) และเพอร์รอกซิเดส (peroxidase) ทั้งนี้ระดับหรือปริมาณของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับระยะการสุกของกล้วยด้วย การให้ความร้อนแก่กล้วยก่อนผ่านการแช่เยือกแข็งได้รับการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ เช่น เนื้อกล้วยมีสีขาวไม่เกิดสีดำ เนื้อสัมผัสแน่น และมีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การให้ความร้อนแก่สาเกก่อนการแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาคุณภาพสาเก โดยนำสาเกที่ระยะการสุกเต็มที่มาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นเล็ก นำไปให้ความร้อนเป็นเวลาประมาณ 10 นาที แล้วทำให้เย็น ทำการบรรจุ และแช่เยือก-แข็งที่อุณหภูมิ -15°ซ และเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ จากนั้นนำตัวอย่างสาเกที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งมาต้มและนำไปปรุงสุก พบว่า สาเกหลังปรุงสุกมีลักษณะกลิ่นรส เนื้อ-สัมผัส และสี เช่นเดียวกับสาเกสดที่ผ่านการปรุงสุก

Gomez and Sjoholm (2004) รายงานว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°ซ เป็นเวลา 2-3 วินาที แก่ชิ้นแครอทก่อนการแช่เยือกแข็งจะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซึ่งส่งผลทำให้ลดการเกิดกลิ่นผิดปกติลงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ยี่ห้อโดล ซื้อจากท็อปส์ซุปเปอร์มาเก็ต สาขาเซนทรัลลาดพร้าว

1.2 สับปะรดพันธุ์ภูเก็ต ซื้อมาจากตลาดสี่มุมเมือง

2. สารเคมี

2.1 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, Analytical grade, APS, Australia)

2.2 เพนเทน (Pentane, HPLC grade, Lab-Scan, Ireland)

2.3 สารมาตรฐาน internal standard

- 2-methyl-3-heptanone (Aldrich, Germany)

2.4 สารมาตรฐาน n-Alkanes (Hydrocarbons, C_6-C_{30}) (Aldrich, USA)

2.5 สารมาตรฐานของสารระเหยที่ให้กลิ่น

- methyl hexanoate (Aldrich, Germany)
- ethyl hexanoate (Aldrich, Germany)
- ethyl 3-(methylthio)propionate (Aldrich, Germany)
- 1,3,5 undecatriene (Aldrich, Germany)

2.6 เมทานอล (Methanol, HPLC grade, Lab-Scan, Ireland)

2.7 ก๊าซฮีเลียม (Helium, 99.999% UHP grade, TIG, Thailand)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 เครื่องแช่เยือกแข็งระบบไครโอจินิกแบบพ่นไอไนโตรเจนเหลว (Cryogenic cabinet freezer, Mini Batch Freezer 1000L, Bangkok Industrial Gas Co., Ltd.)

3.1.2 ตู้แช่เยือกแข็ง (Chest freezer Sanyo, SF-C692NG)

3.1.3 ตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Incubator; IPP400, Memmert, Germany)

3.1.4 สายเทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple) และเครื่องบันทึกข้อมูล (Data-logger)

3.1.5 ตู้อบแบบลมร้อน (Hot air oven, Memmert, ULE500, Germany)

3.1.6 แผ่นความร้อนพร้อมเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic stirrer) และแท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)

3.1.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิได้ (Memmert, WB22, Germany)

3.1.8 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Pocket Refractometer, Pal-1, Atago, Japan)

3.1.9 อุปกรณ์ปอกสับปะรด

3.1.10 เครื่องปิดผนึกถุงพลาสติก

3.1.11 อุปกรณ์เครื่องครัว (มีด เขียง ถาด ฯลฯ)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ

3.2.1 Electronic nose (E-nose) (Alpha MOS, Odorscanner HS100 Automatic Sample Model Fox 3000, France)

3.2.2 Gas chromatography (GC) (Hewlett Packard, HP 6890, USA) ต่อกับ mass selective detector (mass spectrometer; MS) (Hewlett Packard, HP 5973, USA)

3.2.3 แคปิลารีคอลัมน์ (capillary column) ชนิด HP-5 ความยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร (Quadrex, 19091J-436, USA)

3.2.4 SPME-fiber ชนิด polydimethylsiloxane (PDMS) 100 μm (Supelco, USA)

3.2.5 เข็มฉีด (syringe) (Agilent Technologies, HP 5182-3499, USA)

3.2.6 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (OHAUS, AP210-0, Switzerland)

3.2.7 อุปกรณ์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.2.8 เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่น ๆ

4. บรรจุภัณฑ์

4.1 ถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ความหนา 70 ไมครอน ขนาด 127 x 203 มม.

4.2 ถุงพลาสติกชนิดไนลอน NY/ LLDPE (nylon/linear low density polyethylene) ความหนา 70 ไมครอน ขนาด 200 x 300 มม.

4.3 ถุงพลาสติกชนิดรีทอร์ต เพาช์ ชนิดทึบแสง ประเภท standing pouch ขนาด 140 x 190 x 35 มม. ประกอบด้วย 4 ชั้น ชั้นที่ 1 (ชั้นนอกสุด) โพลีเอทิลีนเทอร์เลปทาเลท ความหนา 12 ไมครอน ชั้นที่ 2 ไนลอน ความหนา 25 ไมครอน ชั้นที่ 3 อะลูมิเนียมฟอล์ย ความหนา 9 ไมครอน ชั้นที่ 4 โพลีโพรไพลีน ความหนา 80 ไมครอน

วิธีการ

1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนแช่เยือกแข็ง

นำตัวอย่างสับปะรด เอาจุกออก ล้างทำความสะอาด แล้วหั่นสับปะรดเป็นแว่น โดยแต่ละแว่นหนา 1.5 เซนติเมตร เอาเปลือกและเจาะแกนออกหลังตัดเป็นแว่น แต่ละแว่นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. แบ่งแต่ละแว่นเป็น 8 ชิ้นเท่า ๆ กัน

1.2 การละลายน้ำแข็งก่อนการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงกลิ่น

โดยนำตัวอย่างสับปะรดแช่เยือกแข็งวางในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำ (low temperature incubator) ที่ 4°ซ นาน 12 ชั่วโมง

2. ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย พันธุ์และจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย บรรจุภัณฑ์ อัตราการแช่เยือกแข็ง และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

2.1 ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรด

นำสับปะรดที่พันธุ์ศรีราชาที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามวิธีในข้อ 1.1 โดยควบคุมให้อยู่ในช่วงบริกซ์ 13-15 บรรจุชิ้นสับปะรดในถุงพลาสติกชนิดไนลอน บรรจุถุงละ 1 ชิ้น และปิดผนึก นำไปแช่เยือกแข็งแบบช้า และเก็บรักษาตัวอย่างในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -18°ซ เป็นเวลา 7 วัน นำไปละลายน้ำแข็งตามวิธีในข้อ 1.2 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ดังจะกล่าวต่อไปตามวิธีในข้อ 2.6.1 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ซ้ำละ 8 ตัวอย่าง และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี โดยใช้สับปะรด 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ศรีราชาและพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 1.1 โดยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาควบคุมให้อยู่ในช่วงบริกซ์ 13-15 และสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตควบคุมให้อยู่ในช่วงบริกซ์ 14-17 บรรจุชิ้นสับปะรดในถุงพลาสติกชนิดไนลอน บรรจุถุงละ 1 ชิ้น และปิดผนึก นำตัวอย่างไปแช่เยือกแข็งแบบช้าและเก็บรักษาตัวอย่างด้วยตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -18°ซ เป็นเวลา 7 วัน นำไปละลายน้ำแข็งตามวิธีในข้อ 1.2 จากนั้นนำตัวอย่างมาแช่เยือกแข็งและทำละลายซ้ำอีกเป็นรอบที่ 2 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นดังจะกล่าวต่อไปตามวิธีในข้อ 3 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

2.2 ศึกษาผลของพันธุ์และจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

นำสับปะรด 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ศรีราชาและพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 1.1 โดยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาควบคุมให้อยู่ในช่วงบริกซ์ 13-15 และสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตควบคุมให้อยู่ในช่วงบริกซ์ 14-17 บรรจุชิ้นสับปะรดในถุงพลาสติกชนิดไนลอน บรรจุถุงละ 1 ชิ้น และปิดผนึก นำไปแช่เยือกแข็งแบบช้า และเก็บรักษาตัวอย่างด้วยตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -18°ซ เป็นเวลา 7 วัน นำไปละลายน้ำแข็งตามวิธีในข้อ 1.2 นับเป็นการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ ส่วนตัวอย่างที่เหลือนำมาแช่เยือกแข็งและทำละลายซ้ำอีกเป็น 2 และ 3 รอบ นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ดังจะกล่าวต่อไปตามวิธีใน

ข้อ 2.6.1 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ซ้ำละ 8 ตัวอย่าง และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสดังจะกล่าวต่อไปตามวิธีในข้อ 2.6.2 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ

2.3 ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

เตรียมตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 1.1 บรรจุลงในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ไนลอน และรีทอร์ต เพาช์ บรรจุถุงละ 1 ชิ้น และปิดผนึก นำไปแช่เยือกแข็งแบบช้า และเก็บรักษาตัวอย่างด้วยตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -18°ซ เป็นเวลา 1 และ 30 วัน นำไปละลายน้ำแข็งตามวิธีในข้อ 1.2 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ดังจะกล่าวต่อไปตามวิธีในข้อ 2.6.1

2.4 ศึกษาผลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

เตรียมตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 1.1 บรรจุชิ้นสับปะรดในถุงพลาสติกชนิดไนลอน บรรจุถุงละ 1 ชิ้น และปิดผนึก เสียบสายเทอร์โม-คอปเปิล (thermocouple) บริเวณผิวด้านข้างชิ้น 1 เส้น และเข้าไปในจุดกึ่งกลางของชิ้นอีก 1 เส้น เพื่อติดตามและวัดอุณหภูมิของตัวอย่างในระหว่างการแช่เยือกแข็ง นำตัวอย่างไปแช่เยือกแข็งที่อัตราการแช่เยือกแข็ง 4 ระดับ คือ

1. แช่เยือกแข็งโดยใช้ตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20°ซ
2. แช่เยือกแข็งโดยใช้เครื่องไครโอจินิก ซึ่งกำหนดสภาวะการแช่เยือกแข็ง โดยการลดอุณหภูมิของเครื่องไครโอจินิกเป็น -40°ซ ภายในระยะเวลา 2 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางของตัวอย่างลดลงถึง -20°ซ
3. แช่เยือกแข็งโดยใช้เครื่องไครโอจินิก ซึ่งกำหนดสภาวะการแช่เยือกแข็ง โดยการลดอุณหภูมิของเครื่องไครโอจินิกเป็น -70°ซ ภายในระยะเวลา 3 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางของตัวอย่างลดลงถึง -20°ซ
4. แช่เยือกแข็งโดยใช้เครื่องไครโอจินิก ซึ่งกำหนดสภาวะการแช่เยือกแข็ง โดยการลดอุณหภูมิของเครื่องไครโอจินิกเป็น -70°ซ จนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางของตัวอย่างลดลงถึง -2°ซ จากนั้นปรับอุณหภูมิของเครื่องไครโอจินิกเป็น -25°ซ จนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางของตัวอย่างลดลงถึง -20°ซ

จากนั้นนำตัวอย่างสับปะรดที่ได้ไปเก็บรักษาตัวอย่างด้วยตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -18°ซ เป็นเวลา 1 และ 30 วัน นำไปละลายน้ำแข็งตามวิธีในข้อ 1.2 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ดังจะกล่าวต่อไปตามวิธีในข้อ 2.6.1

2.5 ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

นำตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 1.1 บรรจุชิ้นสับปะรดในถุงพลาสติกชนิดไนลอน บรรจุถุงละ 1 ชิ้น และปิดผนึก นำตัวอย่างไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °ซ เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปแช่เยือกแข็งแบบช้าและเก็บรักษาตัวอย่างด้วยตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -18°ซ เป็นเวลา 7 วัน นำไปละลายน้ำแข็งตามวิธีในข้อ 1.2 จากนั้นนำตัวอย่างมาแช่เยือกแข็งและทำละลายซ้ำอีกเป็นรอบที่ 2 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสตามวิธีในข้อ 2.6.2 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ จากนั้นเลือกระดับอุณหภูมิที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นน้อยที่สุดมาทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่น โดยใช้สับปะรด 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ศรีราชาและพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 1.1 โดยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาควบคุมให้อยู่ในช่วงบริกซ์ 13-15 และสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตควบคุมให้อยู่ในช่วงบริกซ์ 14-17 บรรจุชิ้นสับปะรดในถุงพลาสติกชนิดไนลอน บรรจุถุงละ 1 ชิ้น และปิดผนึก นำตัวอย่างไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ระดับอุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปแช่เยือก-แข็งแบบช้า และเก็บรักษาตัวอย่างด้วยตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -18°ซ เป็นเวลา 7 วัน นำไปละลายน้ำแข็งตามวิธีในข้อ 1.2 จากนั้นนำตัวอย่างมาแช่เยือกแข็งและทำละลายซ้ำอีกเป็นรอบที่ 2 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ตามวิธีในข้อ 3 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

2.6 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่น

2.6.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นทางเคมีโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

นำสับปะรดที่ละลายน้ำแข็งแล้วมาสับให้ละเอียดปริมาณ 2 กรัม ใส่ลงในขวด headspace ที่มีปากขวดแบบ crimp top ขนาด 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการปิดผนึกด้วยฝาชนิด PTFE/silicone septa แบบ crimp top เพื่อให้เกิดระบบปิด นำไปวางไว้ที่ชั้นวางตัวอย่างของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องจะมีกลไกทำหน้าที่ต่อเนื่องได้เอง โดยทำการบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40°ซ ขณะบ่มจะเขย่าตัวอย่างด้วยความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เขย่าเป็นเวลา 5 วินาที และหยุดเป็นเวลา 2 วินาที เป็นอย่างนี้เรื่อย ๆ จนครบกำหนด 10 นาที จากนั้นทำการ adsorption สารระเหยเหนือตัวอย่างด้วยไฟเบอร์ที่มีอุณหภูมิ 50°ซ ทำการฉีดสารระเหยปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ด้วยอัตราเร็ว 2.5 มิลลิลิตรต่อวินาที สารระเหยจะถูกพาเข้าสู่ sensor array ด้วยอัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่อนาที สารระเหยจะถูกแยกด้วย metal oxide sensor 12 เซนเซอร์ คือ LY2/LG, LY2/G, LY2/AA, LY2/Gh, LY2/gCTl, LY2/gCT, T30/1, P10/1, P10/2, P40/1, T70/2 และ PA2 โดยเซนเซอร์จะตอบสนองต่อก๊าซหรือกลิ่นตามชนิดของเซนเซอร์และความสามารถในการวิเคราะห์ ดังแสดงตามตารางผนวกที่ ก1 เซนเซอร์เหล่านี้จะสร้างสัญญาณอิเลคโทรเคมิคอล (electrochemical) โปรแกรมทำการวัดสัญญาณ และแปลงข้อมูลออกมาในรูปของค่าทางสถิติ 2 ค่า คือ

1. Principal Component Analysis (PCA) คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นเทคนิคสำหรับการลดจำนวนตัวแปร โดยจะนำรายละเอียดของตัวแปรที่มีจำนวนตัวแปรมาก ๆ มาไว้ในปัจจัยที่มีเพียงไม่กี่ปัจจัย

2. Discriminant Factorial Ananlysis (DFA) คือ การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มสิ่งที่มีมาก ๆ ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ประโยชน์ คือ เพื่อจัดกลุ่มหรือพยากรณ์กลุ่มให้กับกลุ่มย่อยที่ยังไม่ทราบกลุ่มได้ แต่มีเงื่อนไข คือ ต้องทราบจำนวนกลุ่มมาก่อน (กัลยา, 2548)

2.6.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 2.2 ประเมินผลจากระดับคะแนนการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ทดสอบทั้งสับปะรดสดและสับปะรดที่ผ่านการแช่-เยือกแข็งและทำละลาย ซึ่งมีระดับคะแนนคือ 0 = ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น 6 = เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากที่สุด โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 7 คน ใช้การทดสอบดมและชิมแบบสอบถามดังแสดงตามภาคผนวกที่ ข1 และ ข2 โดยทำการทดลองละ 2 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยให้กลิ่นในสับปะรดโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตร-กราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry)

การสกัดและวิเคราะห์กลิ่นตัวอย่างทั้งสับปะรดสดและสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายโดยใช้เทคนิค Headspace-Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HS-SPME-GC-MS) ซึ่งจากการทดสอบชนิดไฟเบอร์ ในเบื้องต้นพบว่าไฟเบอร์ชนิด polydimethylsiloxane (PDMS) ที่มีความหนา 100 ไมโครเมตร (Supelco, USA) เหมาะสำหรับการ adsorption สารระเหยให้กลิ่นในตัวอย่างสับปะรด การตรวจสอบลักษณะกลิ่นของสารระเหยทำได้โดยนำตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชาน้ำหนัก 3 กรัมใส่ลงในขวด headspace ที่มีปากขวดแบบ crimp top ขนาด 20 มิลลิลิตร เติม internal standard (สารละลาย 2-methyl-3-heptanone 0.0128 มิลลิกรัม ในเมทานอล 1 มิลลิลิตร) 1 ไมโครลิตร หลังจากนั้นทำการปิดผนึกด้วยฝาชนิด PTFE/silicone septa แบบ crimp top เพื่อให้เกิดระบบปิด จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 30 นาที และทำการ adsorption สารระเหยเหนือตัวอย่างด้วยไฟเบอร์ เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปทำการ desorption ด้วยความร้อนที่ injection port ของเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี อุณหภูมิ 250°ซ เป็นเวลา 4 นาที หลังจากนั้นสารระเหยจะถูกพาเข้าสู่เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี โดยก๊าซฮีเลียมด้วยอัตราการไหล 2.2 มิลลิลิตรต่อนาที สารจะถูกแยกด้วยแคปิลารีคอลัมน์ HP-5 (ยาว 60 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร และฟิล์มหนา 0.25 ไมโครเมตร) ร่วมกับการตั้งโปรแกรมอุณหภูมิของ oven ของเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี โดยอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 60°ซ จากนั้นเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็ว 8°ซ ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสุดท้าย 260°ซ การบ่งบอกชนิดของสารระเหยโดยเครื่อง Mass selective detector ที่ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพคท์ (Electron-Impact, EI) มีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลท์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z ที่ความเร็วในการสแกน 2.74 สแกนต่อวินาที

การระบุชนิดสารทำโดยเปรียบเทียบข้อมูล mass spectra ที่ได้ของสารระเหยแต่ละชนิดกับ HP Wiley 275 library ร่วมกับค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิดกับฐานข้อมูลอื่น ที่ใช้คอลัมน์ชนิดเดียวกัน ซึ่งค่า RI คำนวณจากการเปรียบเทียบค่า retention time (RT) ของสารแต่ละชนิดกับค่า RT ของสารมาตรฐาน n-alkanes (C_6-C_{30}) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะเดียวกัน (Van den Dool and Kratz, 1963)

การคำนวณปริมาณสารระเหยแต่ละชนิดทำได้โดยการคำนวณเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารนั้น ๆ กับ internal standard ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ซึ่งการหาพื้นที่ใต้พีคของสารทำโดย

ใช้โปรแกรม Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Hewlett 31 Packard) และรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารชนิดนั้น ๆ ต่อน้ำหนักตัวอย่างสับปะรด (นาโนกรัมต่อกรัม; ppb)

5. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ด้วยวิธีทางสถิติ โดยการทดลองผลของพันธุ์และจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย และผลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็งใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) ตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบรูณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ส่วนการทดลองผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็งใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) ตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

6. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

1. ห้องวิจัยปริญญาโท ห้องปฏิบัติการเคมีทางอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

2. บริษัทสิทธิพรแอสโซซิเอส จำกัด แผนกเครื่องมือวิเคราะห์อาหารและวิทยาศาสตร์ (SPD) บางพลัด กรุงเทพฯ

7. ระยะเวลาทำการวิจัย

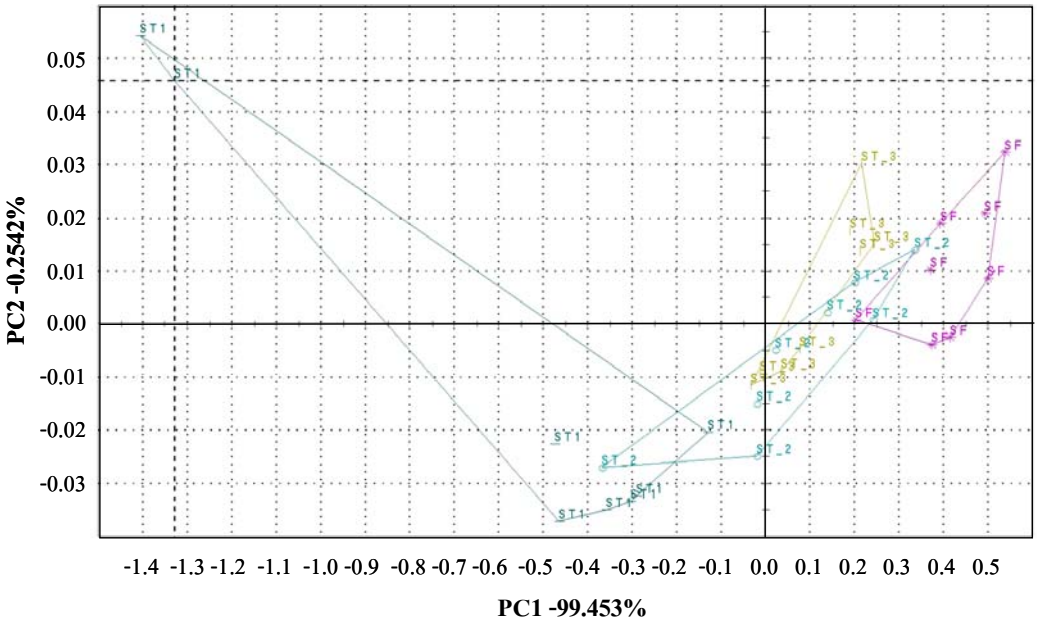
การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 สิ้นสุดเดือนมิถุนายน 2551

ผลและวิจารณ์

1. ผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรด

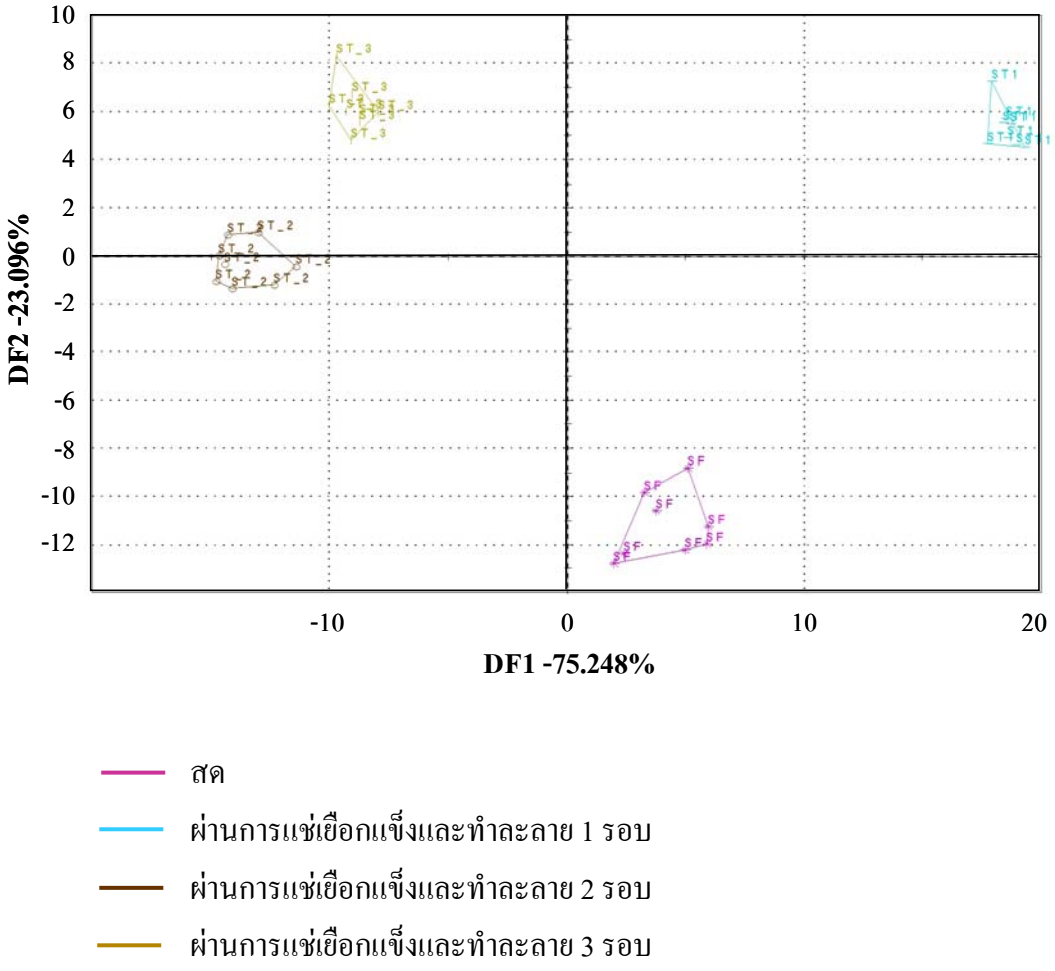
การวิเคราะห์ผลข้อมูลโดยใช้วิธี PCA และ DFA จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจวัดกลิ่นสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1-3 รอบ เปรียบเทียบกับสับปะรดสด พบว่า การวิเคราะห์ผลข้อมูลโดยวิธี PCA ดังแสดงในภาพที่ 7 ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยก ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 99.7072% โดยปัจจัยที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 99.453% ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด คือ T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2 (ภาพผนวกที่ ก3) ซึ่งเซนเซอร์แต่ละชนิดตอบสนองต่อลักษณะกลิ่นไม่เหมือนกัน (ตารางผนวกที่ ก1) โดยลักษณะกลิ่นที่เซนเซอร์ตอบสนองส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของก๊าซในธรรมชาติทั่วไป เช่น ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ฟลูออรีน (fluorine) คลอรีน (chlorine) ไนโตรเจนออกไซด์ (nitrogen oxide) และโอโซน (ozone) เป็นต้น ส่วนปัจจัยที่ 2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 0.2542% ประกอบ ด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด คือ LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT (ภาพผนวกที่ ก3) โดยลักษณะกลิ่นที่เซนเซอร์ตอบสนองส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของก๊าซพิษ (toxic gases) เช่น แอมโมเนีย (ammonia) หรือเอมีน (amines) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) เป็นต้น ซึ่งลักษณะกลิ่นที่เซนเซอร์กลุ่มนี้ตอบสนองนั้นแสดงถึงลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จากภาพกราฟ พบว่า ปัจจัยทั้ง 2 มีความห่างของช่วงสเกล (scale) น้อย ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการการแยกกลิ่นได้น้อย อีกทั้งทั้ง 2 ปัจจัยไม่สามารถแยกกลุ่มของกลิ่นออกมาได้ เนื่องจากกลิ่นของสับปะรดในแต่ละกลุ่มมีภาพกราฟที่ซ้อนทับกัน ดังนั้นการวิเคราะห์ผลข้อมูลโดยใช้วิธี PCA สำหรับการทดลองนี้อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากให้ผลการแยกที่ไม่ชัดเจน

ส่วนการวิเคราะห์ผลข้อมูลโดยใช้วิธี DFA ดังแสดงในภาพที่ 8 ให้ผลที่ชัดเจนกว่า โดยวิธี DFA นี้ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยก ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 98.344% โดยปัจจัยที่ 1 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด (LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 75.248% ส่วนปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด (T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 23.096% (ภาพผนวกที่ ก4)



ภาพที่ 7 Principal Component Analysis (PCA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรดพันธุ์ศรีราชา

จากภาพกราฟพบว่าทั้ง 2 ปัจจัย มีช่วงสเกลที่ค่อนข้างใหญ่สามารถแบ่งกลุ่มได้ค่อนข้างดี โดยสามารถแบ่งกลุ่มของกลิ่นสับปะรดออกเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) สับปะรดสด 2) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ 3) สับปะรดที่การแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ และ 4) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 3 รอบ โดยพบว่า ปัจจัยที่ 1 กลุ่มของเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จะตอบสนองต่อกลิ่นของสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือก-แข็งและทำละลาย ส่วนปัจจัยที่ 2 กลุ่มของเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป จะตอบสนองต่อกลิ่นของสับปะรดสด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของเซนเซอร์ของเครื่องจมูก-อิเล็กทรอนิกส์มีความจำเพาะต่อการตอบสนองของกลิ่นที่แตกต่างกันและสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นสับปะรดที่เกิดขึ้นภายหลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีกลิ่นที่แตกต่างจากสับปะรดสด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของสับปะรด



ภาพที่ 8 Discriminate factorial analysis (DFA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรดพันธุ์ศรีราชา

จากผลการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่แตกต่างจากกลิ่นของสับปะรดสดภายหลังจากผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งและทำละลายนี้อาจสรุปได้ว่าเป็นผลมาจากโครงสร้างของผลึกน้ำแข็งไปทำลายเซลล์ของเนื้อสับปะรดเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในเซลล์ขึ้น (Lim *et al.*, 2004; Torreggiani and Maestrelli, 2006) หรือการเปลี่ยนแปลงกลิ่นนี้อาจเป็นเพราะลักษณะการทำงานของเอนไซม์บางชนิดที่ยังสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ขึ้น รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น (Ponce-Alquicira, 2004) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่แตกต่างจากกลิ่นของสับปะรดสด จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Deng *et al.* (1996) ซึ่งได้ทำการศึกษาการเกิดกลิ่นผิดปกติในสตรอเบอรี่แช่เยือกแข็ง โดยพบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ มีผลทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในสตรอเบอรี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 และ -80°ซ ซึ่งการแช่-เยือกแข็งเป็นสาเหตุทำให้เซลล์เกิดความเสียหายและทำให้ ค่าพีเอชในไซโตซอล (cytosol) ลดลง

ดังนั้นมีผลทำให้ซัลไฟด์ไอออน (sulphide ion) ที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายขึ้น จึงทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติขึ้น และ รายงานของ Slaughter *et al.* (2008) พบว่าการแช่เยือกแข็งน้ำส้มมีผลทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติและเกิดการสูญเสียน้ำเนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้เกิดโครงสร้างของผลึกน้ำแข็งซึ่งทำลายเซลล์ของเนื้อเยื่อส้มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่าง ๆ รวมทั้งส่งผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นขึ้น

จากการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบกลิ่นในสับปะรดสดและสับปะรดที่ผ่านการแช่-เยือกแข็งและทำละลาย ทำให้สรุปได้ว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของสับปะรดภายหลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายได้

จากผลการทดลองข้างต้น คือ การตรวจสอบการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย โดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ มีผลทำให้ทราบถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นซึ่งเป็นกลิ่นที่แตกต่างจากกลิ่นของสับปะรดสด แต่ไม่สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นสับปะรดภายหลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย รวมทั้งไม่สามารถทราบถึงลักษณะและชนิดของสารระเหยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรีเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นสับปะรดภายหลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย และศึกษาลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่แตกต่างจากกลิ่นของสับปะรดสด

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยให้กลิ่นทั้งหมดในสับปะรดสดเปรียบเทียบกับสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ ผลการวิเคราะห์พบว่าสับปะรดสดพันธุ์ศรีราชาประกอบด้วยสารระเหยทั้งสิ้น 14 ชนิด ดังตารางที่ 6 และภาพผนวกที่ ก11 สามารถแบ่งกลุ่มสารระเหยออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เอสเทอร์ 10 ชนิด ไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิด และสารประกอบซัลเฟอร์ 2 ชนิด ส่วนการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยของสับปะรดพันธุ์ศรี-ราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย พบว่าการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลทำให้ปริมาณของสารระเหยส่วนใหญ่ในกลุ่มต่าง ๆ ลดลง และทำให้สารระเหยบางชนิด เช่น สารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์หายไป ในขณะที่ methyl 3-acetoxyhexanoate และ methyl 5-acetoxyhexanoate มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดขึ้น สำหรับรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยดังปรากฏอยู่ในหน้า 72-80

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสดและแช่เยือกแข็ง

ลำดับ[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI[c]	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)	
				สด	แช่เยือกแข็ง
	เอสเทอร์				
1	ethyl acetate	ethereal, sharp, wine-brandy like, fruity, sweet, grape	<700	224	0
2	methyl hexanoate[d]	ethereal fruity (pineapple-apple)	922	37	16
3	ethyl hexanoate[d]	strong, fruity, wine, apple, banana, pineapple notes	997	186	0
5	ethyl heptanoate	strong, fruity, winey, congnac-like	1095	13	0
7	methyl octanoate	strong, winey-fruity, orange-like	1123	70	1
10	ethyl octenoate	fruity, somewhat pear-pineapple like	1190	14	0
11	ethyl octanoate	fruity, winey, sweet	1196	158	0
12	methyl 3-acetoxyhexanoate	fruity green lettuce type	1203	58	145
13	methyl 5-acetoxyhexanoate	fruity, pineapple, apple notes	1251	91	159
14	ethyl 3-acetoxyhexanoate	fruity, green	1273	14	0
	ไฮโดรคาร์บอน				
8	1,3,5-undecatriene[d]	oily, waxy, herbaceous, slight fruity, peppery	1175	35	2
9	1,3,5,8-undecatetraene	fatty, green galbanum notes	1178	45	5

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ลำดับ[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI[c]	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)	
				สด	แช่เยือกแข็ง
	สารประกอบซัลเฟอร์				
4	methyl 3-methylthiopropanoate	onion-garlic at high concentration, cooked pineapple diluted	1026	61	54
6	ethyl 3-methylthiopropanoate[d]	fruity, caramelized pineapple	1101	169	8

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก11 และ ก12

[b] จากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

[c] retention index จากคอลัมน์ HP-5 คำนวณโดยใช้สารมาตรฐาน n-alkane (C_6-C_{30})

[d] สารระเหยหลักที่สำคัญในสับปะรดสด

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยให้กลิ่นทั้งหมดในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต ผลการวิเคราะห์ พบว่าสับปะรดสดพันธุ์ภูเก็ตประกอบด้วยสารระเหยทั้งสิ้น 27 ชนิด ดังตารางที่ 7 และภาพผนวกที่ ก14 สามารถแบ่งกลุ่มสารระเหยออกเป็น 5 กลุ่ม คือ เอสเทอร์ 19 ชนิด ฟูแรน 1 ชนิด ไฮโดรคาร์บอน 4 ชนิด แลกโทน 1 ชนิด และสารประกอบซัลเฟอร์ 2 ชนิด โดยพบว่าสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตมีจำนวนชนิดของสารระเหยมากกว่าสับปะรดพันธุ์ศรีราชา ซึ่งก็สอดคล้องกับลักษณะกลิ่นรสของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ให้ลักษณะกลิ่นรสมากกว่าสับปะรดพันธุ์ศรีราชา ส่วนการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับสับปะรดพันธุ์ศรีราชา คือ การแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลทำให้ปริมาณของสารระเหยส่วนใหญ่ในกลุ่มต่าง ๆ ลดลง และทำให้สารระเหยบางชนิดหายไป เช่น สารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดขึ้น

การแช่เยือกแข็งสับปะรดมีผลทำให้สารระเหยบางชนิดในสับปะรดลดลงหรือสูญเสียไป ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับรายงานของ Deng *et al.* (1996) พบว่าการแช่เยือกแข็งสตรอเบอรี่ทำให้ลักษณะกลิ่นเฉพาะของสตรอเบอรี่ลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นขึ้น รายงานของ Ponce-Alquicira (2004) พบว่าการแช่เยือกแข็งบลูเบอรี่ทำให้ลักษณะกลิ่นเฉพาะของบลูเบอรี่ลดลง รายงานของRamos *et al.* (2004) ศึกษาพบว่าการแช่เยือกแข็งน้ำแอนเดสเบอรี่ (andes berry) เข้มข้นมีผลทำให้สารระเหยให้กลิ่นลดลง รายงานของ Talens *et al.* (2003) ศึกษาพบว่าการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาตัวอย่างกีวี่มีผลทำให้สารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ อัลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์ มีปริมาณลดลง และรายงานของ Skrede (1996) พบว่าการแช่เยือกแข็งผลไม้มีผลทำให้เกิดการสูญเสียสารระเหย คือ ethyl hexanoate และ 2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)furanone และมีผลทำให้สารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ในสตรอเบอรี่มีปริมาณลดลง

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดและแช่เยือกแข็ง

ลำดับ[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI[c]	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)	
				สด	แช่เยือกแข็ง
	เอสเทอร์				
1	methyl butanoate	sweet, ethereal fruity	718	37	0
2	methyl 2-methylbutanoate	fruity, sweet, apple, berry ripe and pineapple	775	157	88
3	ethyl 2-methylbutanoate	strong, green, fruity apple-strawberry	847	23	0
4	methyl hexanoate[d]	ethereal fruity (pineapple-apple)	922	167	13
5	ethyl hexanoate[d]	strong, fruity, wine, apple, banana, pineapple notes	997	272	0
6	methyl heptanoate	fruity, green, waxy-orris-berry	1023	15	0
12	methyl octenoate	fruity, green	1115	19	0
13	methyl octanoate	strong, winey-fruity, orange-like	1123	1533	156
14	benzyl acetate	sweet, floral, fruity odor of jasmine and gardenia	1168	1	0
15	methyl 2-octenoate	green, cooked fruit, melon-pear-like	1170	1	0
17	ethyl benzoate	floral, fruity, ylang-ylang like	1176	17	0
	เอสเทอร์				
19	ethyl octenoate	fruity, somewhat pear-pineapple like	1190	37	0
20	ethyl octanoate	fruity, winey, sweet	1196	969	0

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ลำดับ[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI[c]	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)	
				สด	แช่เยือกแข็ง
	เอสเทอร์				
21	methyl 3-acetoxyhexanoate	fruity green lettuce type	1203	18	12
22	methyl nonanoate	fruity-winey, green, nut-coconut like	1224	27	1
23	methyl 5-acetoxyhexanoate	fruity, pineapple, apple notes	1251	164	64
25	methyl dec-4-enoate	fruity, green, pear notes	1310	12	0
26	methyl decanoate	fatty, oily, fruity-winey-cognac	1325	520	0
27	ethyl decanoate	sweet, fatty, nut-like, winey-cognacodor	1396	204	0
	ฟูแรน				
10	2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone	sweet, fruity “sherry” like, xeres wine-like note	1062	20	0
	ไฮโดรคาร์บอน				
8	limonene	fresh, sweet, hydrocarbon and orange citus	1034	6	0
9	trans-beta-ocimene	sweet, herbaceous terpene	1048	75	31

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ลำดับ[a]	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น[b]	RI[c]	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)	
				สด	แช่เยือกแข็ง
	ไฮโดรคาร์บอน				
16	1,3,5-undecatriene[d]	oily, waxy, herbaceous, slight fruity, peppery	1175	14	6
18	1,3,5,8-undecatetraene	fatty, green galbanum notes	1178	34	21
	แลกโทน				
24	gamma-octalactone	sweet-coumarinic, coconut-like	1265	61	34
	สารประกอบซัลเฟอร์				
7	methyl 3-methylthiopropanoate	onion-garlic at high concentration, cooked pineapple diluted	1026	214	151
11	ethyl 3-methylthiopropanoate[d]	fruity, caramelized pineapple	1101	275	0

หมายเหตุ [a] ลำดับที่ตรงกับโครมาโตแกรมในภาพผนวกที่ ก14 และ ก15

[b] จากฐานข้อมูล Flavor-Base'04 ของ Leffingwell (2004)

[c] retention index จากคอลัมน์ HP-5 คำนวณโดยใช้สารมาตรฐาน n-alkane (C_6-C_{30})

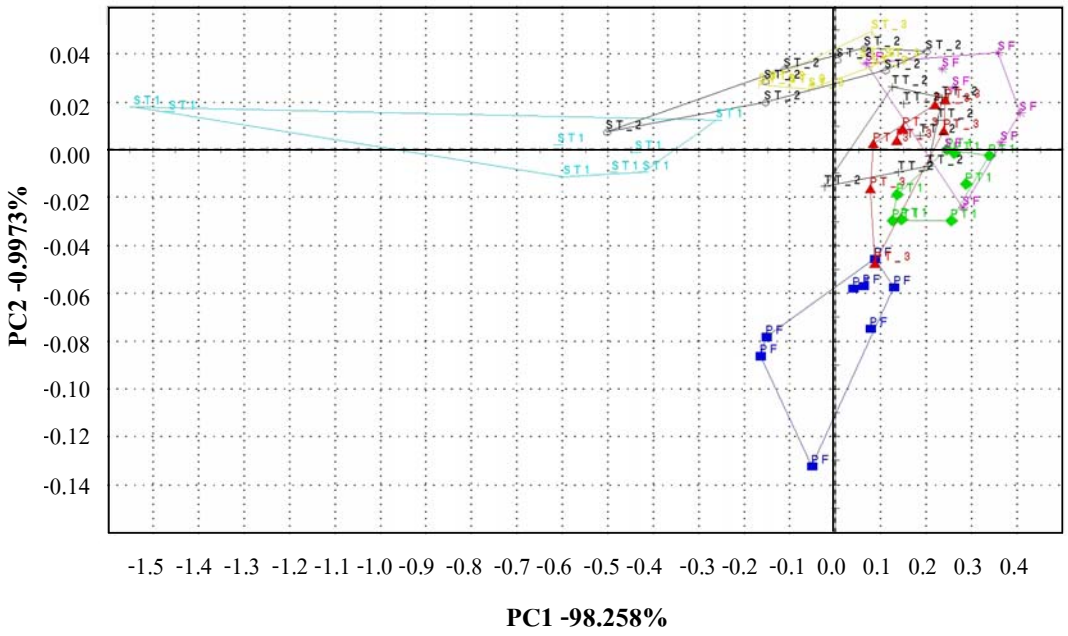
[d] สารระเหยหลักที่สำคัญในสับปะรดสด

จากงานวิจัยของ Preston et al. (2003) Lamikanra and Olga (2004) Elss *et al.* (2005) และ Tokitomo *et al*. (2005) พบว่าสารระเหยหลักที่สำคัญในสับปะรดมี 4 ชนิด คือ methyl hexanoate, ethyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropionate และ 1,3,5-undecatriene ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่า สับปะรดสดพันธุ์ศรีราชาและภูเก็ตมีสารระเหยหลักที่สำคัญทั้ง 4 ชนิด และการแช่เยือกแข็งสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ มีผลทำให้เกิดการสูญเสียสารระเหยหลักที่สำคัญและสารระเหยชนิดอื่น ๆ ด้วย

2. ผลของพันธุ์ต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี PCA และ DFA จากโปรแกรมของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจสอบกลิ่นของสับปะรด 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ศรีราชาและพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1-3 รอบ เทียบกับกลิ่นของสับปะรดสด พบว่า การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี PCA ดังแสดงในภาพที่ 9 ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยก ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 99.2553% โดยปัจจัยที่ 1 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด (LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 98.258% ส่วนปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด (T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 0.9973% (ภาพผนวกที่ ก5) จากภาพกราฟ พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัย ไม่สามารถแยกกลุ่มออกมาได้ เนื่องจากกลิ่นของสับปะรดในแต่ละกลุ่มมีภาพกราฟที่ซ้อนทับกัน ดังนั้นการวิเคราะห์ผลข้อมูลโดยใช้วิธี PCA สำหรับการทดลองนี้อาจไม่เหมาะสม เนื่องจากให้ผลการแยกที่ไม่ชัดเจน

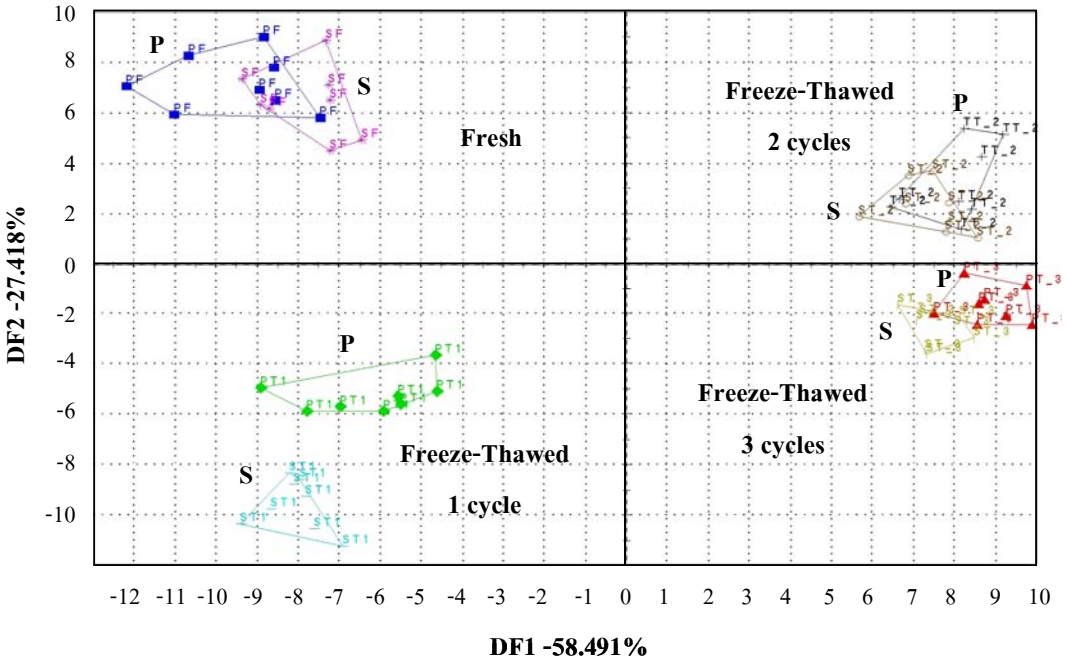
การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี DFA ดังแสดงในภาพที่ 10 ให้ผลที่ชัดเจนกว่า โดยวิธี DFA นี้ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยก ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 85.909% สำหรับปัจจัยที่ 1 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 58.491% ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด (LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT) ส่วนปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 27.418% ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด (T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2) (ภาพผนวกที่ ก6)



ภาพที่ 9 Principal Component Analysis (PCA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรด 2 พันธุ์

จากภาพกราฟทั้ง 2 ปัจจัย พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) สับปะรดสด 2) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ 3) สับปะรดที่การแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ และ 4) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 3 รอบ โดยพบว่า ปัจจัยที่ 1 กลุ่มของเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จะตอบสนองต่อกลิ่นของสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ส่วนปัจจัยที่ 2 กลุ่มของเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป จะตอบสนองต่อกลิ่นของสับปะรดสด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสับปะรดสดให้ลักษณะกลิ่นธรรมชาติ ส่วนสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ แม้จะมีกลิ่นที่แตกต่างกับกลิ่น

ของสับปะรดสด แต่ก็ยังมีกลิ่นที่ใกล้เคียงกับกลิ่นธรรมชาติมากกว่ากลิ่นของสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 และ 3 รอบ โดยกลิ่นของสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 และ 3 รอบ จะให้ลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์



S = ศรีราชา

P = ภูเก็ต

Freeze-Thawed 1 cycle = ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ

Freeze-Thawed 2 cycles = ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ

Freeze-Thawed 3 cycles = ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 3 รอบ

ภาพที่ 10 Discriminate factorial analysis (DFA) ของการวิเคราะห์กลิ่นในสับปะรด 2 พันธุ์

เมื่อพิจารณาในส่วนของพันธุ์พบว่า ภาพกราฟของกลิ่นสับปะรดสดทั้ง 2 พันธุ์ มีการซ้อนทับกันบางส่วนซึ่งก็อาจจะหมายถึงในส่วนของกลิ่นที่ซ้อนทับกันนั้นเป็นลักษณะกลิ่นขององค์ประกอบพื้นฐานที่มีอยู่ในสับปะรดสด ส่วนในตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ พบว่าสับปะรดในทั้ง 2 พันธุ์มีภาพกราฟที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจนแสดงถึงกลิ่นที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตจะให้ลักษณะกลิ่นธรรมชาติมากกว่าพันธุ์ศรีราชา ซึ่งแสดงให้เห็นที่สภาวะแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบนั้น สับปะรดพันธุ์ศรีราชาเกิดการ

เปลี่ยนแปลงกลิ่นมากกว่าพันธุ์ภูเก็ต ในงานวิจัยของ Skrede (1995) ซึ่งได้ศึกษาการเสื่อมเสียของกลิ่นสตรอเบอรี่ 2 พันธุ์ หลังผ่านการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ โดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสก็พบเช่นกันว่าเกิดกลิ่นผิดปกติในสตรอเบอรี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาเพียง 1 วัน โดยในสตรอเบอรี่พันธุ์แรกเกิดกลิ่นผิดปกติมากที่สุดหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน ขณะที่อีกพันธุ์เกิดกลิ่นผิดปกติสูงสุดหลังจากผ่านการเก็บรักษาเพียง 1 สัปดาห์

สำหรับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ พบว่า ภาพกราฟของสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ มีการซ้อนทับกัน ซึ่งน่าจะเป็นกลิ่นที่ใกล้เคียงกัน และให้ลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์มากกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ ในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ ซึ่งแสดงถึงลักษณะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นเพิ่มขึ้นมากกว่าการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ

ส่วนตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 3 รอบ พบว่า ภาพกราฟของสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ มีการซ้อนทับกันเช่นเดียวกับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ อีกทั้งยังมีระยะทางที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงถึงการให้ลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่ใกล้เคียงกันในทั้งสองรอบ จึงอาจสรุปได้ว่า เมื่อสับปะรดผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายมากขึ้น จะมีผลทำให้สับปะรดเกิดความเสียหายมากขึ้น จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดมากขึ้นในสับปะรดทั้งสองพันธุ์และที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายทั้ง 3 รอบ

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชาและพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1-3 รอบ เปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดสด โดยใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 7 คน ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า คะแนนการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในแต่ละจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายแตกต่างกัน โดยในสับปะรดสดไม่มีคะแนนของการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ มีคะแนนการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นสูงกว่าพันธุ์ภูเก็ต

สำหรับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 และ 3 รอบ พบว่าคะแนนการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นค่อนข้างจะใกล้เคียงกันในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ และมีระดับคะแนนการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่มากกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1

รอบ ในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้สอดคล้องกับการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 8 ระดับคะแนนเฉลี่ยของการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัสในสับปะรด 2 พันธุ์ที่จำนวน 1, 2 และ 3 รอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

พันธุ์	สด	แช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ	แช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ	แช่เยือกแข็งและทำละลาย 3 รอบ
ศรีราชา	$0^{bB} \pm 0.0$	$1.2^{bB} \pm 0.8$	$3.5^{aA} \pm 1.8$	$3.2^{aA} \pm 1.3$
ภูเก็ต	$0^{bB} \pm 0.0$	$0.8^{bB} \pm 0.8$	$3.2^{aA} \pm 1.6$	$2.7^{aA} \pm 0.8$

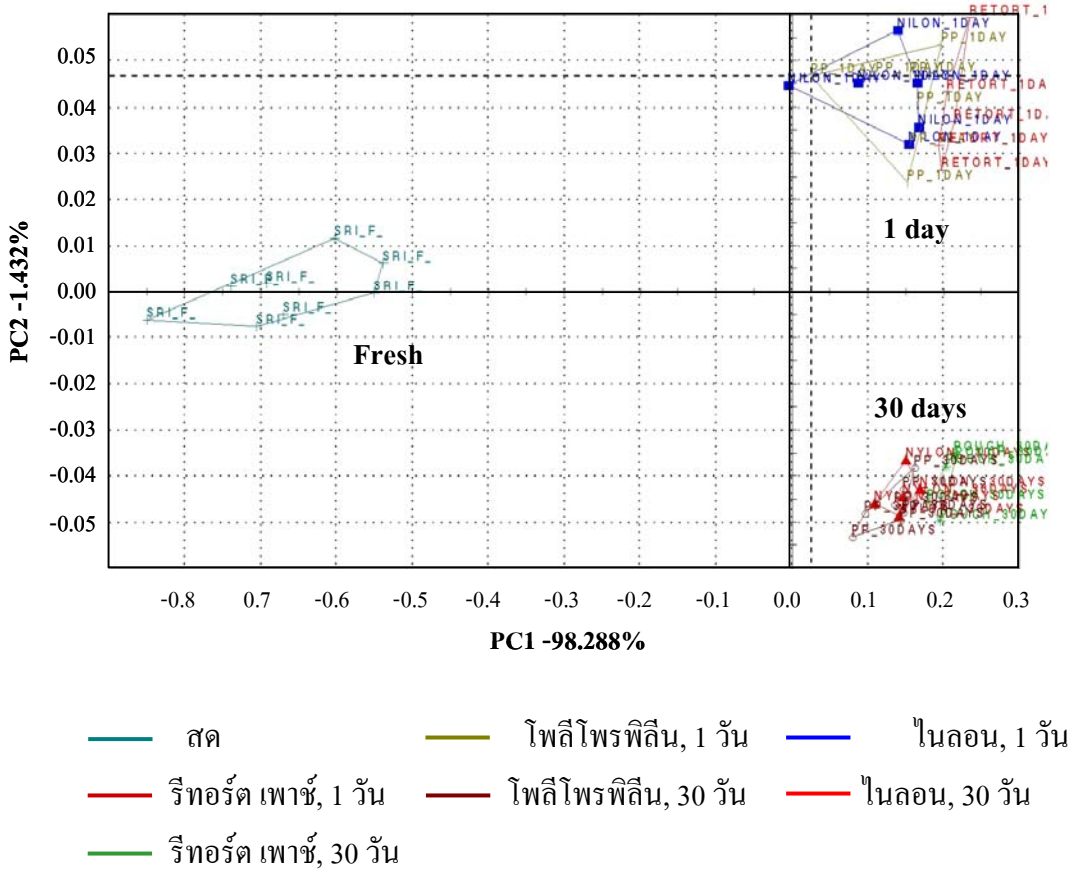
หมายเหตุ : - ^{ab} ตัวอักษรตัวเล็กที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในแต่ละสภาวะ

- ^{AB} ตัวอักษรตัวใหญ่ที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในทุกสภาวะและทั้ง 2 พันธุ์

3. ผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

การใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในตัวอย่างสับปะรด การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี PCA และ DFA ในการตรวจวัดแยกกลิ่นของสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือก-แข็งและทำละลายที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด คือ โพลีโพรพิลีน ไนลอน และรีทอร์ต เพาช์ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 และ 30 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดสด พบว่า การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี PCA ดังแสดงในภาพที่ 11 ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยก สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 99.72% สำหรับปัจจัยที่ 1 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด (T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 98.288% ส่วนปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด (LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 1.432% (ภาพผนวกที่ ก7) จากภาพกราฟ พบว่าทั้ง 2 ปัจจัย สามารถแยกลักษณะกลิ่นออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สับปะรดสด สับปะรดที่

ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน จากผลการตอบสนองของเซนเซอร์แสดงให้เห็นว่ากลิ่นของสับปะรดสดจะให้ลักษณะกลิ่นธรรมชาติ ส่วนสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายจะให้ลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์

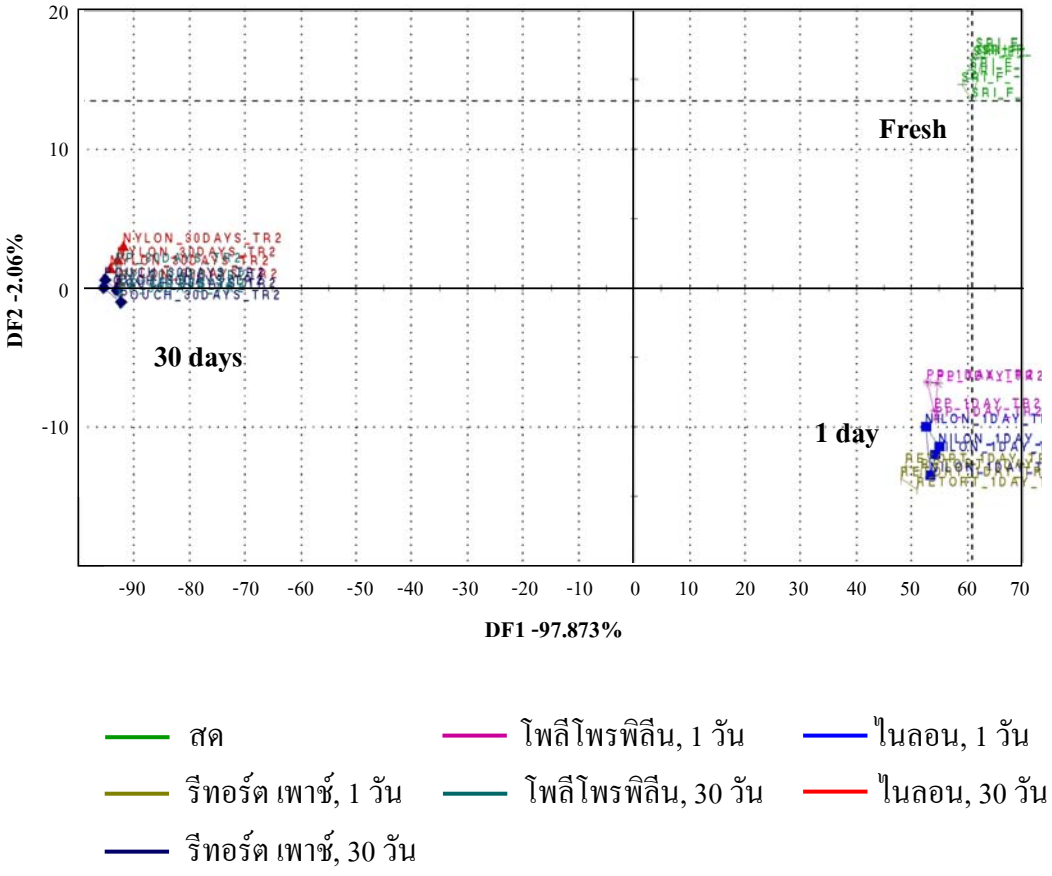


ภาพที่ 11 Principal Component Analysis (PCA) ของการวิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด

เมื่อพิจารณาที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่างสับปะรดแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 วัน พบว่า ภาพกราฟของกลิ่นในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด เกิดการซ้อนทับกันแสดงถึงลักษณะการเกิดกลิ่นที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บรักษาตัวอย่างสับปะรดแช่เยือกแข็งที่ระยะเวลา 30 วัน

การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี DFA ดังแสดงในภาพที่ 12 ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยกสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 99.933% สำหรับปัจจัยที่ 1 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด (LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 97.873% ส่วน

ปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด (T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 2.06% (ภาพผนวกที่ ก8) จากภาพกราฟ พบว่าทั้ง 2 ปัจจัย มีช่วงสเกลที่ค่อนข้างกว้างทำให้สามารถแยกกลุ่มของกลิ่นได้ค่อนข้างดีและสามารถแยกลักษณะกลิ่นออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สับปะรดสด สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน จากผลการตอบสนองของเซนเซอร์แสดงให้เห็นว่าสับปะรดสดและสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน ให้ลักษณะกลิ่นธรรมชาติ ส่วนสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือก-แข็งและทำละลายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน ให้ลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ทำให้สรุปได้ว่าเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลานานขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากขึ้น



ภาพที่ 12 Discriminate factorial analysis (DFA) ของการวิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด

เมื่อพิจารณาที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่างสับปะรดแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 วัน พบว่า มีภาพกราฟของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด เกิดการซ้อนทับกัน แสดงถึงลักษณะการเกิดกลิ่นที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บรักษาตัวอย่างสับปะรดแช่เยือกแข็งที่ระยะเวลา 30 วัน จากผลการทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการแยกกลุ่มของกลิ่นโดยใช้วิธี PCA จึงสรุปได้ว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่แตกต่างกันของถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน ไนลอน และรีทอร์ต เพาช์ เช่น อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนหรืออัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

4. ผลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

จากการแช่เยือกแข็งสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็ง 4 ระดับ พบว่าให้ผลของอัตราเร็วดังนี้

ระดับที่ 1 มีอัตราเร็วประมาณ 0.74 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow Freezing, SF)

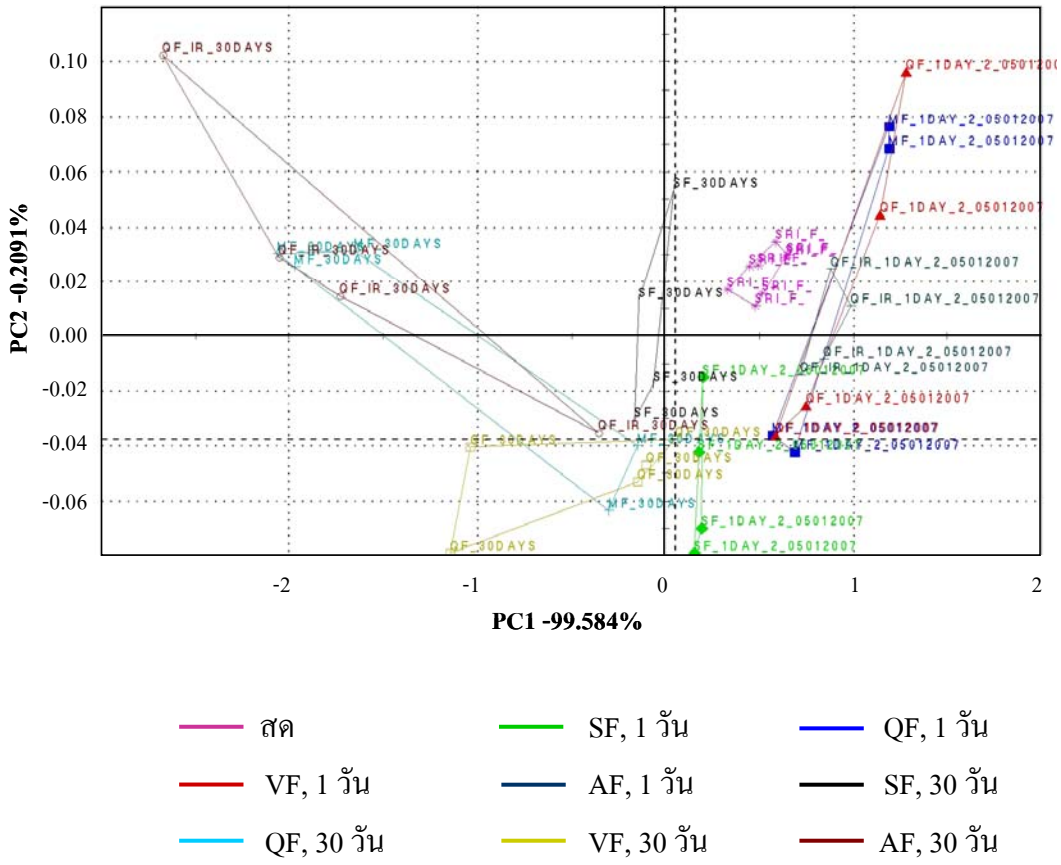
ระดับที่ 2 มีอัตราเร็วประมาณ 5.86 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (Quick Freezing, QF)

ระดับที่ 3 มีอัตราเร็วประมาณ 13.64 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมาก (Very Quick Freezing, VF) ซึ่งทั้ง 3 อัตราเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งตามเกณฑ์กำหนดของ IIR ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

ระดับที่ 4 มีอัตราเร็วประมาณ 4.69 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือเป็นการแช่เยือกแข็งแบบปรับเปลี่ยนอัตราเร็ว (Alternate Freezing, AF) แผนภาพการแช่เยือกแข็งแสดงในภาพผนวกที่ ก2

จากการตรวจสอบการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ของสับปะรด การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี PCA และ DFA ในการตรวจวัดกลิ่นของสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือก-แข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็ง 4 อัตรา คือ SF, QF, VF และ AF และระยะเวลาการเก็บรักษาที่ -18°ซ 2 ระยะ คือ 1 และ 30 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดสด การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี PCA ดังแสดงในภาพที่ 13 ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยก สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 99.7931% สำหรับปัจจัยที่ 1 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด (LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 99.584% ส่วนปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติ

ทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด (T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 0.2091% (ภาพผนวกที่ ก9) จากภาพกราฟพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัย สามารถแยกกลุ่มของกลิ่นออกเป็น 5 กลุ่ม คือ 1) สับปะรดสด 2) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ SF ที่ระยะการเก็บรักษา 1 วัน 3) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ QF, VF และ AF ที่ระยะการเก็บรักษา 1 วัน 4) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ SF ที่ระยะการเก็บรักษา 30 วัน 5) สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ QF, VF และ AF ที่ระยะการเก็บรักษา 30 วัน จากผลการตอบสนองของเซนเซอร์แสดงให้เห็นว่าสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายจะให้ลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์

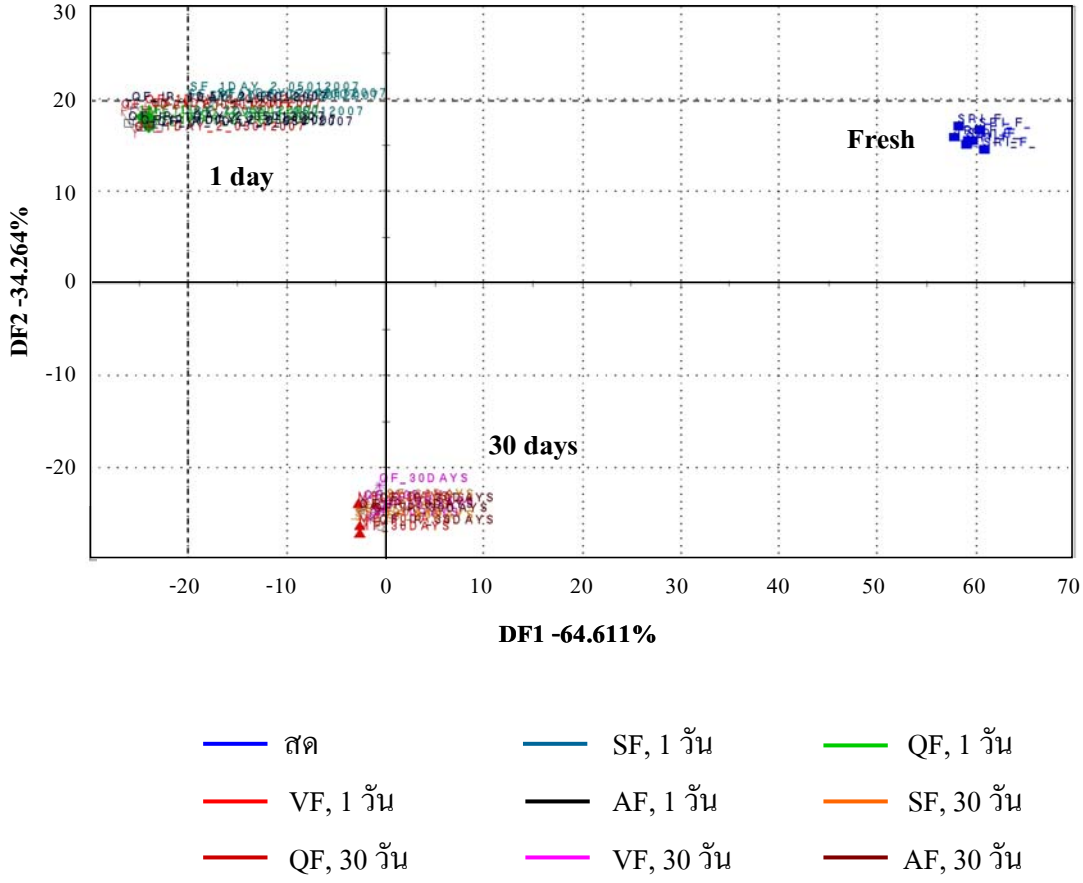


ภาพที่ 13 Principal Component Analysis (PCA) ของการวิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ

จากผลการทดลอง พบว่าอัตราการแช่เยือกแข็งแบบ SF มีลักษณะการเกิดกลิ่นที่แตกต่างจากที่อัตราการแช่เยือกแข็งอื่น ๆ ในทั้ง 2 ระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่แตกต่างจากการแช่เยือกแข็งชนิดอื่น ๆ

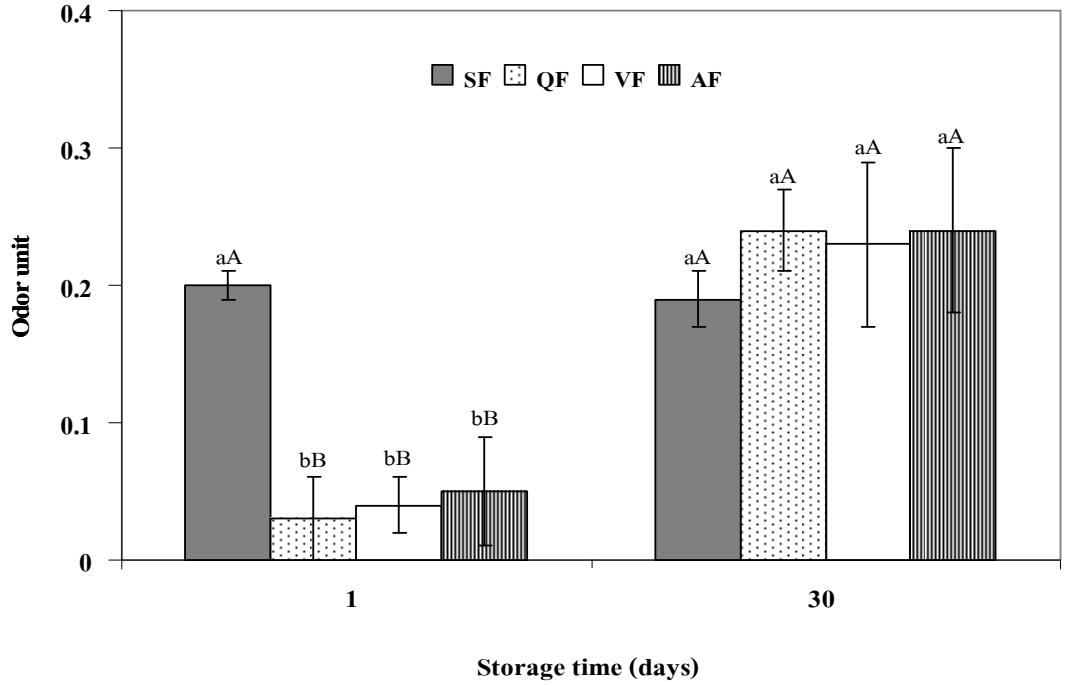
การวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี DFA ดังแสดงในภาพที่ 14 ใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยในการแยก สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 98.875% สำหรับปัจจัยที่ 1 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยเซนเซอร์ 7 ชนิด (T30/1, P10/1, P40/1, PA2, T70/2, LY2/LG และ P10/2) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 64.611% ส่วนปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด (LY2/gCTl, LY2/Gh, LY2/G, LY2/AA และ LY2/gCT) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ทั้งหมด 34.264% (ภาพผนวกที่ ก10) จากภาพกราฟ พบว่าทั้ง 2 ปัจจัย สามารถแยกกลิ่นออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สับปะรดสด สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน จากผลการตอบสนองของเซนเซอร์แสดงให้เห็นว่า สับปะรดสดและสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือก-แข็งและทำละลายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน จะให้ลักษณะกลิ่นธรรมชาติ ส่วนสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน จะให้ลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองเรื่องผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็งในการวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธี DFA แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลานานขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากขึ้น จึงสรุปได้ว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น

การเปรียบเทียบระดับการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของสับปะรดที่ผ่านกระบวนการการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่าง ๆ กับตัวอย่างสับปะรดสด ที่ระยะการเก็บรักษา 1 และ 30 วัน ในรูปของ odor unit ดังภาพที่ 15 โดยค่า odor unit เป็นค่าที่แสดงถึงระยะทางระหว่างตัวอย่างที่เราต้องการเปรียบเทียบสองตัวอย่าง ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างสับปะรดสดและสับปะรดผ่านกระบวนแช่เยือกแข็งที่อัตราต่าง ๆ ค่า odor unit นี้คำนวณจากข้อมูลผลของจมูก-อิเล็กทรอนิกส์ข้างต้น ถ้า odor unit มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าตำแหน่งของข้อมูลทั้งสองซ้อนทับกัน แสดงว่ากลิ่นตัวอย่างไม่ต่างจากกลิ่นสับปะรดสด ค่าที่มากกว่าศูนย์ แสดงถึงความต่างจากกลิ่นของสับปะรดสดซึ่งก็คือการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น



ภาพที่ 14 Discriminate factorial analysis (DFA) ของการวิเคราะห์กลิ่นของสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ

จากการเก็บรักษาตัวอย่างสับปะรดแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 วัน พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่-เยือกแข็งแบบ SF จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในระดับที่มากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มี odor unit ที่สูงกว่าตัวอย่างจากอัตราการแช่เยือกแข็งอื่น ๆ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะการแช่เยือกแข็งแบบ SF มีอัตราการแช่เยือก-แข็งที่ช้ากว่าการแช่เยือกแข็งแบบอื่น ๆ จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่า (Fennema *et al*., 1973; Charoenrein and Reid, 1989) ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่นี้อาจไปทิ่มแทงโครงสร้างที่กักเก็บเอนไซม์ส่งผลให้เอนไซม์ถูกปลดปล่อยออกมากระตุ้นปฏิกิริยาการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่มากกว่าอัตราการแช่เยือกแข็งอื่น ๆ



หมายเหตุ : - ตัวอักษรตัวเล็กที่ต่างกันในแต่ละอัตราการแช่เยือกแข็งที่ระยะการเก็บรักษาเดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ตัวอักษรตัวใหญ่ที่ต่างกันในทุกอัตราการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 15 ค่า Odor units ของสับปะรดที่แช่เยือกแข็งที่อัตราเร็วต่าง ๆ กัน และเก็บรักษาเป็นเวลา 1 และ 30 วัน

ส่วนที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่างสับปะรดแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 30 วัน อัตราการแช่เยือก-แข็งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามค่า odor unit ของตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบ QF, VF และ AF ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน จะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบเดียวกันและเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเป็นเพราะในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ มีผลทำให้ผลึกน้ำแข็งนี้เกิดการตกผลึกน้ำแข็งซ้ำ (ice recrystallization) และการเก็บรักษามีผลทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดโตขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการแช่-เยือกแข็งแบบ QF, VF และ AF เป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมีผลทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวของผลึกน้ำแข็งมากเนื่องจากผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ผลึกของน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กมีคุณสมบัติทางด้านการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนหรืออุณหพล-ศาสตร์ (thermodynamic) ไม่คงที่หรือไม่เสถียร ดังนั้นเมื่อพื้นที่ผิวของผลึกน้ำแข็งมาก จึงเกิดการ

สูญเสียพลังงานได้ง่าย (Fennema *et al.*, 1973; Blond and Meste, 2004; Zaritzky, 2006) ผลึกน้ำแข็งจึงละลายได้ง่าย และเกิดการตกผลึกน้ำแข็งซ้ำได้ง่าย ดังนั้นเมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็งอีกครั้งผลึกน้ำแข็งจะมีปริมาณลดลง แต่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้มีการทำลายโครงสร้างภายในสับปะรดขึ้นได้มากขึ้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากขึ้น ค่า odor unit จึงสูงขึ้น ส่วนกรณีการแช่เยือกแข็งแบบ SF นั้นการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วันและ 30 วัน แตกต่างกันอย่างไม่มีมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระยะเวลาในการเก็บรักษาอาจไม่มีผลทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งใหญ่ขึ้นมากนัก อาจเนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบ SF เป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ละลายได้ยากกว่า และการเกิดผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นเฉพาะภายในเซลล์พื้นที่ผิวของผลึกน้ำแข็งจึงน้อย ดังนั้นคุณสมบัติทางด้านอุณหพลศาสตร์เสถียรกว่า การเกิดการตกผลึกน้ำแข็งซ้ำจึงเป็นไปได้ยากกว่า จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากในระยะการเก็บรักษา 30 วัน

5. ผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เช่น สี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสของผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง มักนิยมใช้วิธีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการทดลองนี้ จึงนำวิธีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำมาใช้เพื่อลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดแช่เยือกแข็ง

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างสับปะรดสด สับปะรดที่ผ่านการแช่-เยือกแข็งและทำละลาย และสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80°ซ ก่อนการแช่เยือกแข็ง ดังตารางที่ 9 พบว่า ตัวอย่างสับปะรดสดไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น ส่วนตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°ซ มีระดับคะแนนการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจจะเป็นเพราะที่ระดับ 80°ซ เป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปจนไปมีผลทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของกลิ่นต่าง ๆ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น หรือทำให้เกิดกลิ่นของอาหารที่ผ่านการปรุงสุกจนเกิดเป็นการเปลี่ยนแปลงกลิ่นขึ้น ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°ซ และ 70°ซ มีระดับคะแนนการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นหรือการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นต่ำกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

แม้ว่าการให้ความร้อนสับปะรดที่อุณหภูมิ 60 °ซ และ 70°ซ มีระดับคะแนนการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่การทดลองนี้เลือกใช้การให้ความ

ร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ ในการลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น เนื่องจากต้องการลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่คาดว่าเกิดขึ้นจากการทำงานของเอนไซม์ ดังนั้นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ จึงคาดว่าจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 60°ซ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 2 นาที ก่อนการแช่เยือกแข็ง เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเอนไซม์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bahceci *et al.* (2005) ซึ่งรายงานว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 2 นาที แก่ถั่วแขกก่อนการแช่เยือกแข็ง สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในถั่วแขกที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 9 ระดับคะแนนเฉลี่ยของปริมาณการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัสในสับปะรดสดและแช่เยือกแข็ง

สด	ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง	ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 2 นาที ก่อนการแช่เยือกแข็ง		
		60°ซ	70°ซ	80°ซ
0.0^{d} ±0.0	3.7^{ab} ±1.4	2.8^{bc} ±1.7	2.5^{b} ±1.1	3.8^{a} ±1.2

หมายเหตุ : - $^{a-d}$ ตัวอักษรแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลดังกล่าวแสดงว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำแก่สับปะรดก่อนการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นลงได้ดีกว่าสับปะรดที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งจากรายงานของ Baldwin (n.d.) พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงกลิ่นเกิดจากโครงสร้างของเซลล์ถูกทำลายโดยการทำงานของเอนไซม์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในระหว่างการแช่-เยือกแข็งยังคงมีเอนไซม์บางชนิดที่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิขณะทำละลาย การให้ความร้อนเป็นการทำลายเอนไซม์ให้เสื่อมสภาพหรือเป็นการช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Bahceci *et al*., 2005) การให้ความร้อนสับปะรดก่อนการแช่เยือกแข็งจึงสามารถลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ได้ จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Gomez and Sjoholm (2003) ซึ่งรายงานว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ๆ แก่แครอทก่อนการแช่-เยือกแข็งจะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งส่งผลต่อการลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นลงได้

จากผลของการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรีในการตรวจสอบชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นในสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งเปรียบเทียบกับสับปะรดสดและสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ ดังตารางที่ 10 และ 11 พบว่า การให้ความร้อนแก่สับปะรดก่อนการแช่เยือกแข็งสามารถช่วยรักษาสารระเหยที่มีในสับปะรดสดได้ดีกว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เมื่อคำนวณชนิดและปริมาณของสารระเหยเปรียบเทียบกันในระหว่างสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ พบว่า การให้ความร้อนในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาจะช่วยลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นได้มากกว่าพันธุ์ภูเก็ต การให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งแก่สับปะรดพันธุ์ศรีราชาจะช่วยเก็บรักษาสารระเหยหลักในสับปะรดไว้ได้ 3 ชนิด คือ methyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropionate และ 1,3,5-undecatriene และยังสามารถรักษาสารระเหยอื่น ๆ ได้อีก คือ methyl octanoate และ 1,3,5,8-undecatetraene สำหรับการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งแก่สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตจะช่วยเก็บรักษาสารระเหยหลักในสับปะรดไว้ได้ 2 ชนิด คือ methyl hexanoate และ 1,3,5-undecatriene นอกจากนี้ยังสามารถรักษาสารระเหยอื่น ๆ ได้อีก คือ methyl 2-methylbutanoate, methyl octanoate, methyl 5-acetoxyhexanoate, trans-beta-ocimene, 1,3,5,8-undecatetraene, gamma-octalactone และ methyl 3-methylthiopropionate

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

สารระเหย	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)		
	สด	แช่เยือกแข็ง	ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง
เอสเทอร์			
ethyl acetate	224	0	0
methyl hexanoate	37	16	45
ethyl hexanoate	186	0	0
ethyl heptanoate	13	0	0
methyl octanoate	70	1	11
ethyl octenoate	14	0	0

ตารางที่ 10 (ต่อ)

สารระเหย	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)		
	สด	แช่เยือกแข็ง	ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง
เอสเทอร์			
ethyl octanoate	158	0	6
methyl 3-acetoxyhexanoate	58	145	266
methyl 5-acetoxyhexanoate	91	159	346
ethyl 3-acetoxyhexanoate	14	0	0
ไฮโดรคาร์บอน			
1,3,5-undecatriene	35	2	15
1,3,5,8-undecatetraene	45	5	27
สารประกอบซัลเฟอร์			
methyl 3-methylthiopropanoate	61	54	157
ethyl 3-methylthiopropanoate	169	8	19

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

สารระเหย	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)		
	สด	แช่เยือกแข็ง	ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง
เอสเทอร์			
methyl butanoate	37	0	10
methyl 2-methylbutanoate	157	88	119
ethyl 2-methylbutanoate	23	0	0
methyl hexanoate	167	13	26
ethyl hexanoate	272	0	0
methyl heptanoate	15	0	0
methyl octenoate	19	0	0
methyl octanoate	1533	156	208
benzyl acetate	1	0	0
methyl 2-octenoate	1	0	0
ethyl benzoate	17	0	0
ethyl octenoate	37	0	0
ethyl octanoate	969	0	0
methyl 3-acetoxyhexanoate	18	12	33
methyl nonanoate	27	1	2
methyl 5-acetoxyhexanoate	164	64	90
methyl dec-4-enoate	12	0	0
methyl decanoate	520	0	0
ethyl decanoate	204	0	0

ตารางที่ 11 (ต่อ)

สารระเหย	ความเข้มข้นของสารระเหย (ng/g)		
	สด	แช่เยือกแข็ง	ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง
ฟูแรน			
2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone	20	0	9
ไฮโดรคาร์บอน			
limonene	6	0	0
trans-beta-ocimene	75	31	47
1,3,5-undecatriene	14	6	9
1,3,5,8-undecatetraene	34	21	24
แลกโทน			
gamma-octalactone	61	34	20
สารประกอบซัลเฟอร์			
methyl 3-methylthiopropanoate	214	151	166
ethyl 3-methylthiopropanoate	275	0	0

การพิจารณาปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ ซึ่งความเข้มข้นสัมพัทธ์ คือ ค่าความเข้มข้นหรือปริมาณของสารตัวอย่างที่ได้มาจากการคำนวณพื้นที่ใต้พีคของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานตามสูตรดังแสดงในภาคผนวกการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยในกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาทั้ง 3 กลุ่ม พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์มากที่สุด รองลงมาเป็น สารประกอบซัลเฟอร์ และไฮโดรคาร์บอน ตามลำดับ โดยในสับปะรดสดมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ และไฮโดรคาร์บอน เท่ากับ 865, 230 และ 80 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lamikanra and Richard (2004) ที่รายงานว่า พบสารระเหยในกลุ่มของเอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ และไฮโดรคาร์บอน ในสับปะรดสด และนอกจากนี้ยังพบสารระเหยในกลุ่มของแลกโทน สารประกอบคาร์บอนิล แอลกอฮอล์ และฟีนอลด้วย

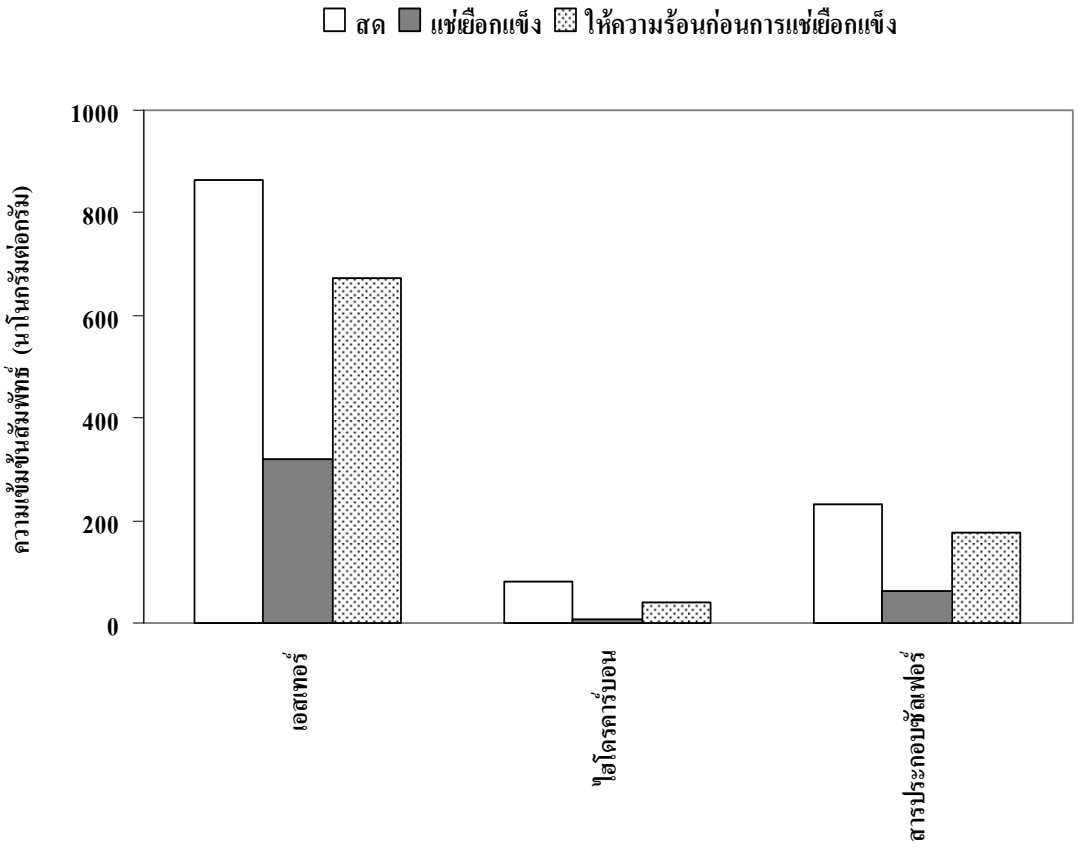
ส่วนสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ และไฮโดรคาร์บอน เท่ากับ 321, 62 และ 7 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ และไฮโดรคาร์บอน 674, 176 และ 42 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 16

การแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลทำให้จำนวนสารระเหยในกลุ่มต่าง ๆ ของสับปะรดลดลง สารระเหยบางชนิดในแต่ละกลุ่มหายไปและคงเหลือสารระเหยเพียง 8 ชนิด จากสารระเหยทั้งหมด 14 ชนิดในสับปะรดสด การให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งแก่สับปะรดมีผลทำให้เก็บรักษาปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยแต่ละกลุ่มได้มากกว่าสับปะรดที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงสารระเหยในแต่ละกลุ่มของสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เอสเทอร์

เอสเทอร์เป็นกลุ่มของสารประกอบหลักที่พบในผลไม้ ซึ่งสารในกลุ่มเอสเทอร์ส่วนใหญ่มีคุณลักษณะให้กลิ่นคล้ายกัน คือ กลิ่นหอมผลไม้ (fruity) (Tokitomo *et al*., 2005) เอสเทอร์เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอซิลิก (หรือกรดอินทรีย์) และแอลกอฮอล์ สำหรับกรดคาร์บอซิลิกโดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นเองในธรรมชาติ ซึ่งถ้าหากกรดคาร์บอซิลิกมีน้ำหนักมวลโมเลกุลน้อยจะให้ลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ แต่เมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นจะไม่มีกลิ่น แม้ว่าการรวมตัวของกรดคาร์บอซิลิกและแอลกอฮอล์จะทำให้เกิดเป็นโครงสร้างของเอสเทอร์ซึ่งให้กลิ่นหอมหวาน แต่บาง

ครั้งโครงสร้างของเอสเทอร์อาจไม่เสถียร ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของโครงสร้างกลายมาเป็นกรดคาร์บอซิลิกซึ่งทำให้เกิดลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ (Katz, 2000)



ภาพที่ 16 ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารประกอบในกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

ในตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสดมีสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์ทั้งหมด 10 ชนิด แต่เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำลายแล้ว พบว่าเหลือสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์เพียง 4 ชนิด สอดคล้องกับรายงานของ Skrede (1996) พบว่าผลไม้ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมีปริมาณของสารในกลุ่มเอสเทอร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้สด

Preston *et al.,* 2003; Lamikanra and Richard, 2004 และ Elss *et al*., 2005 พบว่าสารระเหยหลักที่สำคัญในกลุ่มเอสเทอร์ของสับปะรด คือ methyl hexanoate และ ethyl hexanoate ซึ่งการทดลองนี้พบว่าสับปะรดสดพันธุ์ศรีราชามี methyl hexanoate และ ethyl hexanoate ในปริมาณความเข้มข้น 37 และ 186 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ หลังจากสับปะรดผ่านการแช่เยือกแข็งและทำ

ละลาย พบว่า methyl hexanoate มีปริมาณลดลง แต่เมื่อเปรียบ เทียบกับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่า methyl hexanoate มีปริมาณความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ส่วน ethyl hexanoate หายไปเมื่อสับปะรดผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

2. ไฮโดรคาร์บอน

ไฮโดรคาร์บอนเป็นกลุ่มพื้นฐานของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น ไฮโดรคาร์บอนมีหลายกลุ่ม เช่น กลุ่มของไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว (saturated hydrocarbons) ประกอบด้วยพันธะเดี่ยว (single bond) มีสูตรโครงสร้างคือ C_nH_{2n+2} กลุ่มของไฮโดรคาร์บอนแอโรแมติก (aromatic hydrocarbons) ประกอบด้วยโครงสร้างแบบเป็นวงแหวน มีหลายชนิด เช่น เบนซีน (benzene) และ แนฟทาลีน (napthalene) เป็นต้น และกลุ่มของไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbons) ประกอบด้วยพันธะคู่ (double bond) และ พันธะสาม (triple bond) ซึ่งไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มหลักที่ให้คุณลักษณะกลิ่นต่าง ๆ ในอาหาร (Reineccius, 2006)

สับปะรดพันธุ์ศรีราชาสดมีสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด 2 ชนิด คือ 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene จากการศึกษาของ Tokitomo *et al*., 2005 รายงานว่า สารระเหยทั้ง 2 ชนิดนี้ให้ลักษณะกลิ่นสับปะรดสด และถึงแม้จะมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ แต่ก็ถือว่าเป็นสารระเหยหลักที่สำคัญในสับปะรดสด โดยในสับปะรดสดมีปริมาณความเข้มข้นของ 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene เท่ากับ 35 และ 45 นาโน-กรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายแล้ว พบว่า 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene มีปริมาณความเข้มข้นลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่า 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

3. สารประกอบซัลเฟอร์

สารประกอบซัลเฟอร์เป็นกลุ่มของสารระเหยหลักที่สำคัญสามารถพบได้ทั่วไปในอาหารหลากหลายชนิด อาหารทั่วไปจะมีสารประกอบกลุ่มซัลเฟอร์ในปริมาณความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ

แต่ก็สามารถส่งผลต่อการรับรู้ทางประสาทสัมผัสได้ (low thresholds) โดยกลุ่มของสารประกอบซัลเฟอร์ที่มีจุดเดือดต่ำจะเป็นกลุ่มสำคัญที่ให้ลักษณะกลิ่นในอาหาร สารประกอบซัลเฟอร์ชนิดแอลิแฟติก (aliphatic thiols) เป็นชนิดที่พบได้ในผัก ผลไม้ นมเนย และอาหารที่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งถึงแม้ว่าสารประกอบซัลเฟอร์เป็นกลุ่มหลักของสารให้กลิ่นในอาหารแต่ก็มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในอาหารด้วยเช่นกัน เช่น สารประกอบซัลเฟอร์ในกลุ่ม hydrogen sulfide เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในน้ำส้มสด แต่สารประกอบซัลเฟอร์ในกลุ่ม dimethyl sulfide กลับส่งผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในน้ำส้มและน้ำองุ่นกระป๋อง (Mussinan and Keelan, 1994; Mistry *et al*., 1994)

สับปะรดพันธุ์ศรีราชาสดมีสารระเหยกลุ่มสารประกอบซัลเฟอร์ทั้งหมด 2 ชนิด คือ methyl 3-methylthiopropanoate และ ethyl 3-methylthiopropanoate ซึ่ง ethyl 3-methylthiopropanoate เป็นสารระเหยหลักที่สำคัญในสับปะรดสด (Preston *et al*., 2003) โดย ethyl 3-methylthiopropanoate มีปริมาณความเข้มข้น 169 นาโนกรัมต่อกรัม และเมื่อผ่านกระบวนแช่เยือกแข็งและทำละลายแล้วพบว่า ethyl 3-methylthiopropanoate มีปริมาณความเข้มข้นลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Reineccius (2006) พบว่า ปริมาณของสารระเหยกลุ่มสารประกอบซัลเฟอร์ในอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารนั้นผ่านการให้ความร้อน

สำหรับปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยในกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตทั้ง 3 แบบ พบว่า สับปะรดทั้ง 3 แบบมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์มากที่สุด รองลงมาเป็น สารประกอบซัลเฟอร์ ไฮโดรคาร์บอน แลกโทน และฟูแรน ตามลำดับ ซึ่งมีสารระเหยในกลุ่มของแลกโทน และฟูแรน เพิ่มขึ้นมาจากสับปะรดพันธุ์ศรีราชา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tokitomo *et al.* (2005) ที่รายงานว่า พบสารระเหยในกลุ่มของแลกโทน และฟูแรน ในสับปะรดสด นอกเหนือจากสารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ และสารประกอบซัลเฟอร์ โดยในสับปะรดสดมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ ไฮโดรคาร์บอน แลกโทน และฟูแรน เท่ากับ 4193, 849, 129, 61 และ 20 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

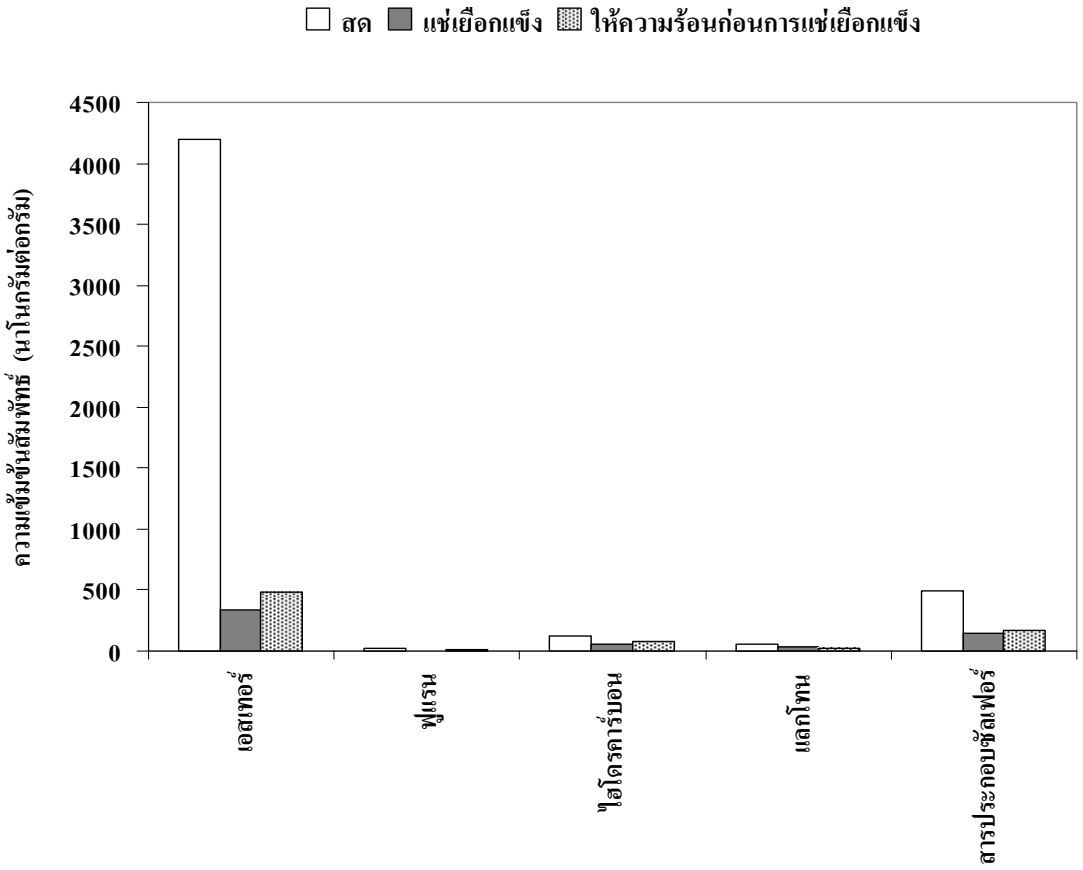
ส่วนสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ ไฮโดรคาร์บอน และแลกโทน เท่ากับ 334, 151, 58, และ

34 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนฟูแรนหายไปหลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกลุ่มเอสเทอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ ไฮโดรคาร์บอน และแลกโทน เท่ากับ 488, 166, 80 และ 20 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง และยังพบอีกว่าการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งสามารถรักษาสารระเหยในกลุ่มของฟูแรนไว้ได้ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมเท่ากับ 9 นาโนกรัมต่อกรัม ดังแสดงในภาพที่ 17

การลดลงของปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยในกลุ่มต่าง ๆ ของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตให้ผลเช่นเดียวกับสับปะรดพันธุ์ศรีราชา ซึ่งมีผลมาจากการแช่เยือกแข็งและทำละลาย โดยสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีสารระเหยทั้งหมด 27 ชนิด แต่เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย คงเหลือสารระเหยเพียง 11 ชนิด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่-เยือกแข็ง พบว่าสามารถรักษาสารระเหยไว้ได้ 13 ชนิด และมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยแต่ละกลุ่มมากกว่า การเปลี่ยนแปลงสารระเหยในแต่ละกลุ่มของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งมีดังนี้

1. เอสเทอร์

สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์ทั้งหมด 19 ชนิด แต่เมื่อผ่านการแช่เยือก-แข็งและทำลายแล้ว พบว่าเหลือสารระเหยกลุ่มเอสเทอร์เพียง 6 ชนิด สำหรับสารระเหยในกลุ่มเอส-เทอร์นี้ นอกเหนือจาก methyl hexanoate และ ethyl hexanoate ที่เป็นสารระเหยหลักที่สำคัญในสับปะรดสดแล้วยังมีสารระเหยอื่นด้วย คือ methyl butanoate, methyl 2-methylbutanoate และ ethyl 2-methylbutanoate (Preston *et al*., 2003; Lamikanra and Richard, 2004; Elss *et al*., 2005 and Tokitomo *et al*., 2005) โดย methyl butanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 2-methylbutanoate, methyl hexanoate และ ethyl hexanoate, มีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 37, 157, 23, 167 และ 272 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ หลังจากสับปะรดผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย พบว่า methyl 2-methylbutanoate และ methyl hexanoate มีปริมาณความเข้มข้นลดลง ส่วน methyl butanoate, ethyl 2-methylbutanoate และ ethyl hexanoate หายไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schreier (2006) ซึ่งพบว่าการแช่เยือกแข็งสตรอเบอรี่ 3 พันธุ์ คือ Senga Sengana, Senga Litessa และ Senga Gourmella มีผลทำให้ methyl butanoate, ethyl butanoate, methyl hexanoate และ ethyl hexanoate มีปริมาณความเข้มข้นลดลง



ภาพที่ 17 ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารประกอบในกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด แช่เยือกแข็ง และผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่า methyl 2-methylbutanoate และ methyl hexanoate มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

methyl octanoate เป็นสารที่ให้คุณลักษณะกลิ่นส้ม มีปริมาณมากที่สุด คือ 1533 นาโนกรัมต่อกรัม แต่เมื่อนำตัวอย่างสับปะรดไปผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย หรือไปผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง มีผลทำให้ methyl octanoate หายไป

นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งยังสามารถรักษาปริมาณสาร methyl butanoate ไว้ได้ 10 นาโนกรัมต่อกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งพบว่ามีผลทำให้ methyl butanoate หายไป

2. ฟูแรน

ฟูแรนเป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม ต่อกันเป็นวงโดยมีพันธะคู่ 2 พันธะ (Answers Corp., 2008)

สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีสารระเหยกลุ่มฟูแรน 1 ชนิด คือ 2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone ให้ลักษณะกลิ่นเชอรี่ (sherry-like aroma) (Engel *et al*., 1990) ซึ่งถือว่าเป็นสารระเหยหลักที่สำคัญชนิดหนึ่งในสับปะรดสด (Preston *et al*., 2003 and Elss *et al*., 2005) โดยมีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 20 นาโนกรัมต่อกรัม และหลังจากสับปะรดผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายแล้ว พบว่า 2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone หายไป แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่า สามารถรักษาปริมาณความเข้มข้นไว้ได้ 9 นาโนกรัมต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Nijssen (1991) พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ แก่ผลแบลคเคอร์แรนท์ (blackcurrants) มีผลทำให้สารระเหยในกลุ่มฟูแรนมีปริมาณเพิ่มขึ้น

3. ไฮโดรคาร์บอน

สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอน 4 ชนิด คือ limonene, trans-beta-ocimene, 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มของไฮโดรคาร์บอนกับสับปะรดพันธุ์ศรีราชา พบว่า สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตมีสาร limonene และ trans-beta-ocimene เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Elss *et al*. (2005) ซึ่งพบ limonene และ trans-beta-ocimene ในสับปะรดด้วยเช่นกัน โดย limonene เป็นสารหลักที่สำคัญในผลไม้ตระกูลส้ม (Gomez-Ariza *et al*., 2004) limonene มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในน้ำส้มแช่เย็นจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Nijssen, 1991)

จากผลการทดลองพบว่า limonene, trans-beta-ocimene, 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene ในสับปะรดสดมีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 6, 75, 14 และ 34 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายแล้ว พบว่า trans-beta-ocimene, 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene มีปริมาณความเข้มข้นลดลง ส่วน limonene หายไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Farnworth *et al*. (2001) ให้ผลการทดลองคล้ายกัน คือน้ำส้มที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ มีผลทำให้ปริมาณ limonene ลดลง และ Skrede

(1996) รายงานว่า ผลของการเก็บรักษาน้ำมะนาวเข้มข้นที่อุณหภูมิ -12°ซ ทำให้สารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ และ limonene ปริมาณลดลง เมื่อนำตัวอย่างสับปะรดไปผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งก็มีผลทำให้ limonene หายไปเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Farnworth *et al*. (2001) โดยพบว่า limonene ในน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรท์เซชั่น (pasteurization) มีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มสดที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรท์เซชั่น และงานวิจัยของ Alasalvar *et al*. (1999) พบว่าการให้ความร้อนแก่แครอทมีผลทำให้ปริมาณ limonene ลดลง ส่วน trans-beta-ocimene, 1,3,5-undecatriene และ 1,3,5,8-undecatetraene ในตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง

4. แลกโทน

แลกโทนเป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ประกอบด้วยคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม แลกโทนเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยไตรกลีเซอร์ไรด์เกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เมื่อมีความร้อนและน้ำ ทำให้ได้เป็นกรดไฮดรอกซี และเมื่อกรดไฮดรอกซีเกิดไฮโดรไลซิสทำให้เกิดโครงสร้างของแลกโทน แลกโทนเป็นกลุ่มของสารระเหยที่สามารถพบได้ในอาหารหมัก อาหารจำพวกนมเนย เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และในผลไม้บางชนิด โดยส่วนใหญ่แล้วสารในกลุ่มแลกโทนให้ลักษณะกลิ่นหอมหวาน กลิ่นคาราเมล หรือกลิ่นมะพร้าว โครงสร้างที่เสถียรของแลกโทนจะอยู่ในรูปของ gamma และ delta-lactone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พบได้ในผลไม้ เช่น สับปะรด มะพร้าว ราสเบอรี่ (raspberries) พีช (peaches) และแอปริคอต (apricots) (Reineccius, 2006)

สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีสารระเหยกลุ่มไฮโดรคาร์บอน 1 ชนิด คือ gamma-octalactone ซึ่งให้ลักษณะกลิ่นมะพร้าว (Tokitomo *et al*., 2005) ในตัวอย่างสับปะรดสดมีปริมาณความเข้มข้น 61 นาโนกรัมต่อกรัม และเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นลดลงเหลือ 34 นาโนกรัมต่อกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่-เยือกแข็ง พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นลดลงเหลือ 20 นาโนกรัมต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง อาจเป็นเพราะความร้อนอาจไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นมีผลทำให้โครงสร้างของ gamma-octalactone ถูกทำลายปริมาณความเข้มข้นจึงลดลง

5. สารประกอบซัลเฟอร์

สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีสารระเหยกลุ่มสารประกอบซัลเฟอร์ 2 ชนิด เช่นเดียวกับสับปะรดพันธุ์ศรีราชา คือ methyl 3-methylthiopropanoate และ ethyl 3-methylthiopropanoate ในตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีปริมาณความเข้มข้น 214 และ 275 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย พบว่า methyl 3-methylthiopropanoate มีปริมาณความเข้มข้นลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าตัวอย่างสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ส่วน ethyl 3-methylthiopropanoate หายไปเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยในสับปะรดสามารถสรุปได้ว่าสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายทำให้สารระเหยส่วนใหญ่มีความเข้มข้นลดลงหรือหมดไป ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นขึ้น ซึ่งเป็นกลิ่นที่แตกต่างจากกลิ่นของสับปะรดสด การให้ความร้อนแก่สับปะรดก่อนการแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษากลิ่นบางชนิดของสับปะรดสดได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งสามารถลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นลงได้บางส่วน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่แตกต่างจากกลิ่นของสับปะรดสด ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยใช้การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิคส์ และเมื่อตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในสับปะรดด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี พบว่าการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีผลทำให้เกิดการสูญเสียสารระเหยหลักที่สำคัญและสารระเหยชนิดอื่น ๆ ในสับปะรดสด จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นขึ้น

2. จากผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิคส์และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าพันธุ์สับปะรดมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่แตกต่างกัน โดยพบว่าที่จำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ สับปะรดพันธุ์ศรีราชาเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากกว่าพันธุ์ภูเก็ต ส่วนที่จำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่ 2 และ 3 รอบ สับปะรดทั้ง 2 พันธุ์เกิดกลิ่นการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่ไม่ต่างกัน แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นที่มากกว่าจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่ 1 รอบ ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดการเสื่อมเสียของตัวอย่างมากขึ้น

3. อัตราการแช่เยือกแข็งมีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่น โดยพบว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราที่เร็วกว่า แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างเพิ่มขึ้น อัตราการแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่น และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้า

4. จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ ด้วยเครื่องก๊าซ-โครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี พบว่าสารระเหยในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสดมีสารระเหยทั้งหมด14 ชนิด สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เอสเทอร์ ไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบซัลเฟอร์ ส่วนสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสดมีชนิดของสารระเหยมากกว่าพันธุ์ศรีราชา คือ 27 ชนิด สามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ เอสเทอร์ ฟูแรน ไฮโดรคาร์บอน แลกโทน และสารประกอบ

ซัลเฟอร์ โดยสารส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มเอสเทอร์ ซึ่งสารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญในสับปะรดมี 4 ชนิด คือ methyl hexanoate, ethyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropionate และ 1,3,5-undecatriene

5. จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลของการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งในสับปะรด โดยทดสอบความแตกต่างระหว่างการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนก่อนการแช่เยือก-แข็ง พบว่าการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งสามารถลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดลงได้ระดับหนึ่ง โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 2 นาที สามารถลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดได้ดีที่สุด

6. การให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาสารระเหยบางชนิดในสับปะรดไว้ได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งช่วยลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นลงได้บางส่วน การให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งแก่สับปะรดพันธุ์ศรีราชาจะช่วยเก็บรักษาสารระเหยหลักในสับปะรดไว้ได้ 3 ชนิด คือ methyl hexanoate, ethyl 3-methylthiopropionate และ 1,3,5-undecatriene ส่วนการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งแก่สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตจะช่วยเก็บรักษาสารระเหยหลักในสับปะรดไว้ได้ 2 ชนิด คือ methyl hexanoate และ 1,3,5-undecatriene และจากการเปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งต่อการรักษาชนิดและปริมาณสารระเหยในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งแก่สับปะรดพันธุ์ศรีราชาจะช่วยรักษาจำนวนชนิดและปริมาณสารระเหยไว้ได้ดีกว่าสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งแก่สับปะรดพันธุ์ศรีราชาจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นได้ดีกว่าสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นในสับปะรดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ซึ่งเกิดจากการสูญเสียสารระเหยในสับปะรดสด ดังนั้นจึงน่าจะศึกษาเพิ่มเติมถึงสาเหตุของการสูญเสียสารระเหยนั้น เช่น ศึกษาถึงปัจจัยของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในสับปะรดว่ามีผลต่อการสูญเสียสารระเหยหรือไม่ เพื่อทำให้ทราบถึงสาเหตุของการเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลวรรณ อิศราคาร. 2548. **ผลของการเติมสตาร์ชดัดแปรและไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 2550. **สับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด.** แหล่งที่มา: http://www.dft.go.th, 25 กันยายน 2551.

กุลธิดา วรรณวิลาส, นวลประไพ น้อยวงศ์, มีนา เลาหโชติโรจน์ และ สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2547. **โครงงานการแช่เยือกแข็งสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองและพันธุ์ปัตตาเวีย.** สรุปผลโครงการให้ทุนสนับสนุนโครงงานอุตสาหกรรม สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IRPUS). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. **การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows**. ภาควิชาสถิติ, คณะพาณิชย์ศาสตร์และการบัญชี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. บริษัทธรรมสาร. กรุงเทพฯ.

จินตนา อุปดิสสกุล. 2535. **กลิ่นรสและการประเมินค่า**. เอกสารประกอบการสอนวิชา 054541 กลิ่นรสและการประเมินค่า. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดนุพล จิรวรรณพันธุ์. 2549. **ห่อหมกปลาช่อนพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประธาน โพธิสวัสดิ์. 2544**. การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ลูกผสม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2542. **พลาสติก**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์. กรุงเทพฯ.

พลกฤษณ์ วิมุกติพันธุ์. 2547. **การผลิตข้าวผัดแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มงคล รายะนาคร. 2537. **แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี**. ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มนต์ราม อินทรศิริ. 2550. **การปรับปรุงเส้นขนมจีนเพื่อพัฒนาเป็นขนมจีนหมักพร้อมบริโภคแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แม้น อมรสิทธิ์. 2534. **Principles and Techniques of Instrumental Analysis**. ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มยุรี ภาคลำเจียก. 2544. **รอบรู้เรื่องบรรจุภัณฑ์**. วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.). โรงพิมพ์สุรวัฒน์. กรุงเทพ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และ อนุวัตร แจ้งชัด. 2549. บรรจุภัณฑ์กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์, น. 423-436. *ใน* รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รัชนี ศรีวรรณวิทย์. 2541. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวผัดกุ้งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2548. **จมูกอิเล็กทรอนิกส์.** แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki, 25 กันยายน 2551.

ศักดิ์ศิทธิ์ จันทร์ไทย. 2543. **หลักการเบื้องต้นและการประยุกต์ใช้เทคนิคคู่ควบในเคมีวิเคราะห์**. ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สถาพร เมธาวัฒนสกุล. 2539. **การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะภายนอกและองค์ประกอบภายในสับปะรดพันธุ์ต่างๆและลูกผสม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายสนม ประดิษฐดวง. 2546. การแช่เยือกแข็งอาหาร, น. 154-186. *ใน* คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, บรรณาธิการ. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภกาญจน์ พรหมขันธ์. 2548. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสข้นจากสับปะรด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภัตรา เจริญเกษมวิทย์ และธวัช นุสนธรา. 2548. มารู้จักรีทอร์ต พอชกันเถอะ. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**. ปีที่ 53 ฉบับที่ 167 หน้า 23-25.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. **ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2550**. แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/pdffile/commodity.pdf , 1 กันยายน 2551.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2525. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดเยือกแข็ง.** มอก. 425-2525.

Aishima, T. 2004. Correlating sensory attributes to gas chromatography-mass spectrometry profiles and e-nose responses using partial least squares regression analysis. **J. Chromatogr. A**. 1054: 39-46.

Ancos, D.B., C. Sanchez-Moreno, S.D. Pascual-Teresa and M.P. Cano. 2006. Fruit freezing principles, pp. 59-79. *In* Y.H. Hui ed. **Handbook of Fruits and Fruit Processing**. Blackwell Publishing. Amsterdam.

Answers Corp. 2008. **Furan**. Available Source: http://www.answers.com/topic/furan, November 9, 2008.

Bahceci, S.K., A. Serpen, V. Gokmen and J. Acar. 2005. Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. **J. Food Eng.** 66: 187-192.

Baldwin, A.E. n.d. **Flavor**. Available Source: http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/023flavor.pdf, October 30, 2008.

Berna, A.Z., J. Lammertyn, S. Saevels, C. Di Natale and B.M. Nicolai. 2004. Electronic nose systems to study shelf life and cultivar effect on tomato aroma profile. **Sens. Actuators, B**. 97: 324-333.

Blond, G. and M.L. Meste. 2004. Principles of frozen storage, pp. 25-53. *In* Y.H. Hui, P. Cornillon, I.G. Legaretta, M.H. Lim, K.D. Murrell and W. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Charoenrein, S. and D.S. Reid. 1989. Effect of freezing conditions and storage temperature on the stability of frozen green beans, pp. 226-228. *In* J.J. Jen, ed. **Quality Factors of Fruits and Vegetables Chemistry and Technology**. American Chemical Society, Washington, DC.

Deng, H.,Y. Ueda, K. Chachin and H. Yamanaka. 1996. Off-flavor production in frozen strawberries. **Postharvest Biol. Technol**. 9: 31-39.

Elss, S., C. Preston, C. Hertzig, F. Heckel, E. Richling and P. Schreier. 2005. Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* [L.] Merr.) and pineapple products. **Lebensm-Wiss u-Technol**. 38: 263-274.

Engel, Karl-Heinz, J. Heidlas and R. Tressl. 1990. The flavour of tropical fruits (banana, melon, pineapple), pp. 195-219. *In* I.D. Morton and A.J. Macleod, eds. **Food Flavours Part C. The Flavour of Fruits**. Elsevier, Amsterdam.

Fennema, O.R., W.D. Powrie, and E.H. Marth. 1973. **Low Temperature Preservation of Foods and Living Matter**. Marcel Dekker, Inc., New York.

George, M.R. 1997. Freezing systems, pp. 3-9. *In* M.C. Erickson and Yen-Con Hung, eds. **Quality in Frozen Food**. Chapman & Hall, New York.

Gomez, F. and I. Sjoholm. 2004. Applying biochemical and physiological principles in the industrial freezing of vegetables: a case study on carrots. **Trends Food Sci. Tech**. 15: 39-43.

Gomez, H.A., J. Wang, G. Hu and A.G. Pereira. 2008. Monitoring storage shelf life of tomato using electronic nose technique. **J. Food Eng**. 85: 625-631.

Gomez-Ariza, J.L., T. Garcia-Berrera and F. Lorenzo. 2004. Determination of flavour and off-flavour compounds in orange juice by on-line coupling of a pervaporation unit to gas chromatography-mass spectrometry. **J. Chromatogr. A**. 1047: 313-317.

Haard, F.N. 1997. Product composition and the quality of frozen foods, pp. 275-295. *In* M.C. Erickson and Yen-Con Hung, eds. **Quality in Frozen Food**. Chapman & Hall, New York.

Hao, F., T. Juming, D.S. Mattinson and J.K. Fellman. 1999. Microwave and spouted bed drying of frozen blueberries: the effect of drying and pretreatment methods on physical properties and retention of flavor volatile. **J. Food Proc**. 23: 463-479.

Jaworska, G. and E. Bernas. 2009. The effect of preliminary processing and period of storage on the quality of frozen *Boletus edulis* (Bull: Fr.) mushrooms. **Food Chemistry**. 113: 936-943.

Katz, A.D. 2000. **Ester: The preparation and Identification of an Artificial Food Flavor**. Available Source: http://www.chymist.com/esters.pdf, October 30, 2008.

Kennedy, C.J. 2000. **Managing Frozen Foods**. CRC Press, Inc., Boca Raton.

Lamikanra, O. and O.A. Richard. 2004. Storage and ultraviolet-induced tissue stress effects on fresh-cut pineapple. **J. Sci. Food Agric**. 84: 1812-1816.

Lee, H.K. 2006. Plastic packaging of frozen foods, pp. 641-651. *In* Da-Wen Sun, ed. **Handbook of Frozen Food Processing and Packaging**. CRC Press, Inc., New York.

Lim, H.M., J.E. McFetridge and J. Liesebach. 2004. Frozen food components and chemical reaction, pp. 67-82. *In* Y.H. Hui, P. Cornillon, I.G. Legaretta, M.H. Lim, K.D. Murrell and W. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Marin, S., M. Vinaixa, J. Brezmes, E. Llobet, X. Vilanova, X. Correig, A.J. Ramos and V. Sanchis. 2007. Use of a MS - electronic nose for prediction of early fungal spoilage of bakery products. **Int. J. Food Microbiol**. 114: 10-16.

Mistry, S.B., G.A. Reineccius and B.L. Jaspet. 1994. Comparison of gas chromatographic detectors for the analysis of volatile sulfur compounds in foods, pp. 8-21. *In* C.J. Mussinan and M.E. Keelan, eds. **Sulfur Compounds in Foods**. ACS Symposium Series 564, Washington, DC.

Mussinan, J.C. and M.E. Keelan. 1994. Sulfur compounds in foods, pp. 1-6. *In* C.J. Mussinan and M.E. Keelan, eds. **Sulfur Compounds in Foods**. ACS Symposium Series 564, Washington, DC.

Nijssen, B. 1991. Off-flavors, pp. 689-735. *In* H. Maarse, ed. **Volatile Compounds in Foods and Beverages**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Persson, P.O. and G. Londahl. 1993. Freezing Technology, pp. 20-58. *In* C.P. Mallett, ed. **Frozen Food Technology.** Chapman & Hall, Great Britain.

Ponce-Alquicira, E. 2004. Flavor of frozen foods, pp. 83-92. *In* Y.H. Hui, P. Cornillon, I.G. Legaretta, M.H. Lim, K.D. Murrell and W. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Preston, C., E. Richling, S. Elss, M. Apple, F. Heckel, A. Hartlieb and P. Schreier. 2003. On-line gas chromatography combustion/pyrolysis isotope ratio mass spectrometry (HRGC-C/P-IRMS) of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) volatiles. **J. Agric. Food. Chem.** 51: 8027-8031.

Rahman, M.S. 1995. **Food Properties Handbook**. CRC Press, Inc., Boca Raton.

Ramos, A.F., J.L. Delgado, E. Bautista, A.L. Morales and C. Duque. 2004. Changes in volatiles with the application of progressive freeze-concentration to Andes berry (*Rubus glaucus* Benth). **J. Food Eng**. 69: 291-297.

Reineccius, G. 2006. **Flavor Chemistry and Technology**. CRC Press, Inc., New York.

Saevels, S., J. Lammertyn, A.Z. Berna, E.A. Veraverbeke, C.D. Natale and B.M. Nicolai. 2004. An electronic nose and a mass spectrometry-based electronic nose for assessing apple quality during shelf life. **Postharvest Biol. Technol**. 31: 9-19.

Skrede, G. 1996. Fruits, pp. 183-245. *In* Jeremiah E. L, ed. **Freezing Effects on Food Quality**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Schreier, P. 2006. Quantitative composition of volatile constituents in cultivated strawberries, *Fragaria ananassa* cv. senga sengana, senga litessa and senga gourmella. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 31: 487-494.

Slaughter, C.D., D.M. Obenland, J.F. Thompson, M.L. Arpaia and D.A. Margosan. 2008. Non-destructive freeze damage detection in oranges using machine vision and ultraviolet fluorescence. **Postharvest Biol. Technol**. 48: 341-346

Sun, Da-Wen and L. Zheng. 2006. Innovation in freezing process, pp. 175-195. *In* Da-Wen Sun, ed. **Handbook of Frozen Food Processing and Packaging**. CRC Press, Inc., New York.

Talens, P., I. Escriche, N. Martinez-Navarrete and A. Chiralt. 2003. Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. **Food Res. Int.** 36: 635-642.

Tokitomo, Y., M. Steinhaus, A. Buttner and P. Schieberle. 2005. Odor-Active constituents in fresh pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) by quantitative and sensory evaluation. **Biosci. Biotechnol., Biochem.** 69: 1323-1330.

Torreggiani, D. and A. Maestrelli. 2006. Quality and safety of frozen fruits, pp. 417-440. *In* Da-Wen Sun, ed. **Handbook of Frozen Food Processing and Packaging**. CRC Press, Inc., New York.

Van den Dool, H. and P.D. Kratz. 1963. A generalization of the reaction of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partiotion chromatography. **J. Chromatogr.** 11: 463-471.

Wang, M., J. Sun, W. Feng, J. Cao and W. Jiang. 2008. Identification of a ripening-related lipoxygenase in tomato fruit as blanching indicator enzyme. **Process Biochem**. 43: 932-936.

Yam, L.K., H. Zhao and C.C. Lai. 2004. Frozen food packaging, pp. 55-65. *In* Y.H. Hui, P. Cornillon, I.G. Legaretta, M.H. Lim, K.D. Murrell and W. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Zaritzky, N. 2006. Physical-Chemical principles in freezing, pp. 3-31. *In* Da-Wen Sun, ed. **Handbook of Frozen Food Processing and Packaging**. CRC Press, Inc., New York.

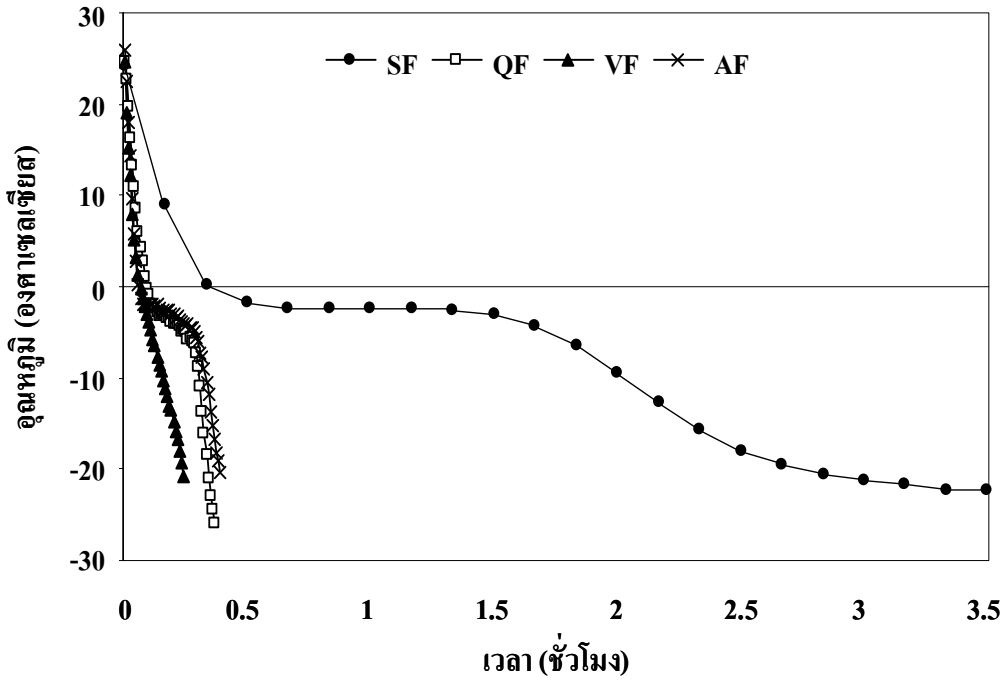
Zhu, L., R.A. Seburg, E. Tsai, S. Puech and J. Mifsud. 2004. Flavor analysis in a pharmaceutical oral solution formulation using an electronic-nose. **J. Pharm. Biomed. Anal.** 34: 453-461.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ภาพผนวกที่ ก1 จมูกอิเล็กทรอนิกส์



ภาพผนวกที่ ก2 แผนภาพการแช่เยือกแข็งของสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ

ตารางผนวกที่ ก1 ชนิดของเซนเซอร์และความสามารถในการวิเคราะห์

Gas/Odor description		sensors		
		P-type	T-type	LY2-type
Flammable gases	hydrocarbons	P10/1		
	methane	P10/1, P10/2		
	propane/butane			LY2/gCT
Organic compounds	solvents		T30/1	
	alcohol	PA2		LY2/AA
	aromatic compounds		T70/2	
Toxic gases	ammonia, amines	PA2		LY2/G LY2/Gh
	hydrogen sulfide			LY2/gCT1
	carbon monoxide			LY2/G
Oxidizing gases	fluorine	P40/1		LY2/LG
	chlorine			LY2/LG
	nitrogen oxide			LY2/LG
	ozone			LY2/LG
Cooking control	combustion gas monitoring		T70/2	

สัญลักษณ์ภาพผนวกที่ ก3 - ก6

S, SF, SRI_F = สับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด

ST1 = สับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ

ST2 = สับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ

ST3 = สับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 3 รอบ

P, PF = สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด

PT1 = สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ

PT2 = สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ

PT3 = สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 3 รอบ

PP_1DAY = ถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนที่ระยะการเก็บรักษา 1 วัน

NYLON_1DAY = ถุงพลาสติกชนิดไนลอนที่ระยะการเก็บรักษา 1 วัน

RETORT_1DAY = ถุงพลาสติกชนิดรีทอร์ต เพาช์ที่ระยะการเก็บรักษา 1 วัน

PP_30DAY S= ถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนที่ระยะการเก็บรักษา 30 วัน

NYLON_30DAYS = ถุงพลาสติกชนิดไนลอนที่ระยะการเก็บรักษา 30 วัน

RETORT_30DAYS = ถุงพลาสติกชนิดรีทอร์ต เพาช์ที่ระยะการเก็บรักษา 30 วัน

SF_1DAY = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ SF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 1 วัน

MF_1DAY = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ QF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 1 วัน

QF_1DAY = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ VF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 1 วัน

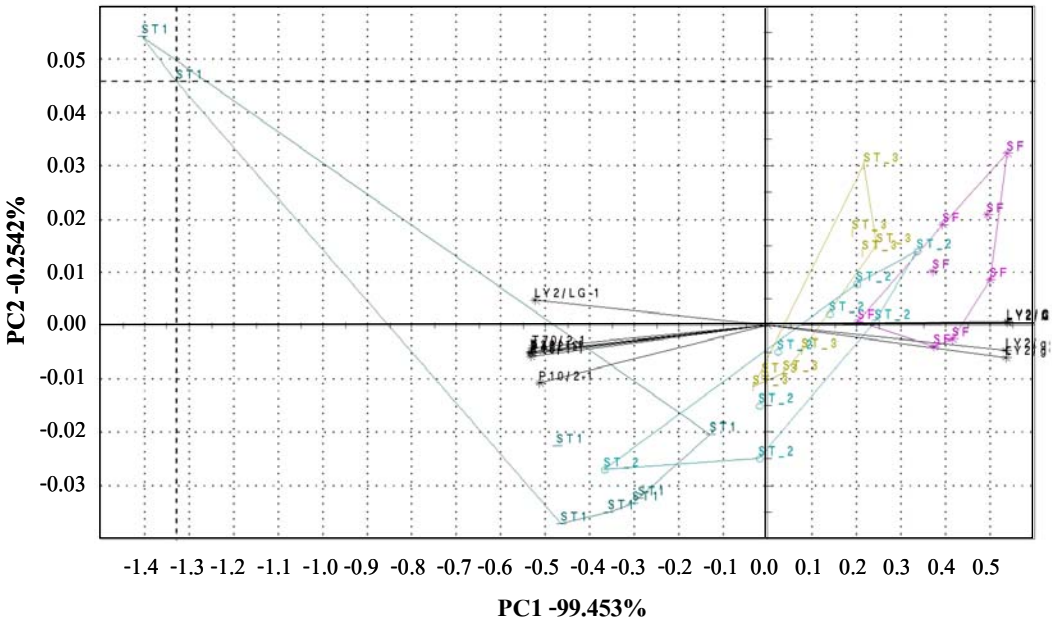
QF_IR_1DAY = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ AF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 1 วัน

SF_30DAYS = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ SF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 30 วัน

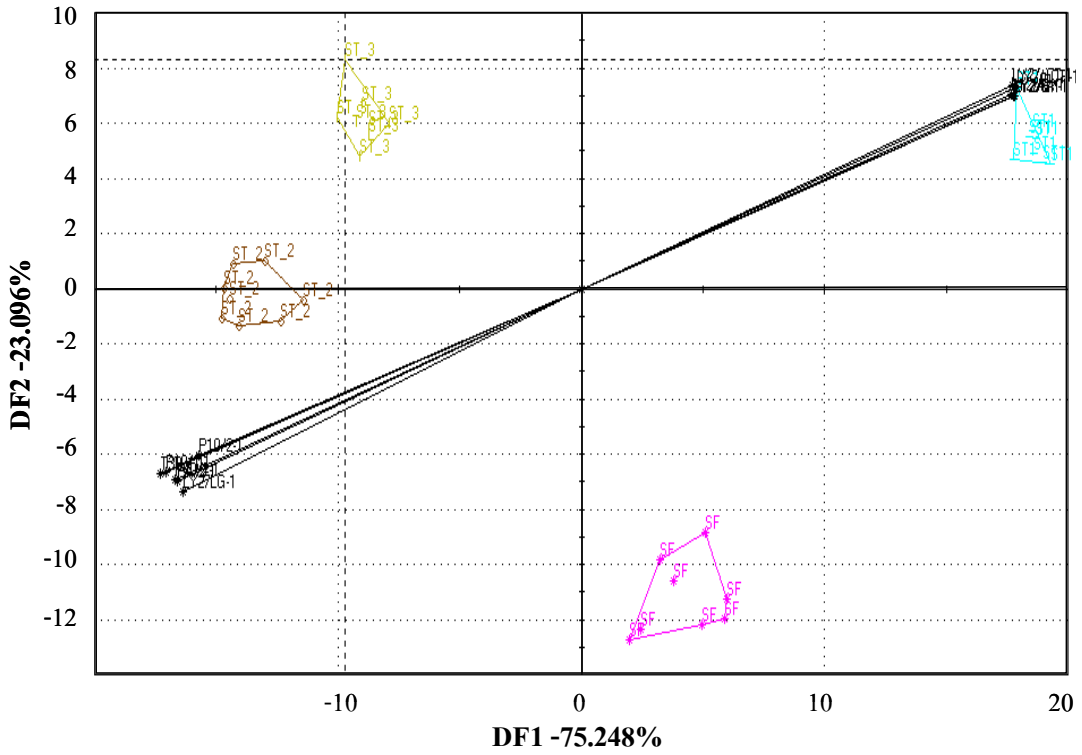
MF_30DAYS = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ QF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 30 วัน

QF_30DAYS = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ VF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 30 วัน

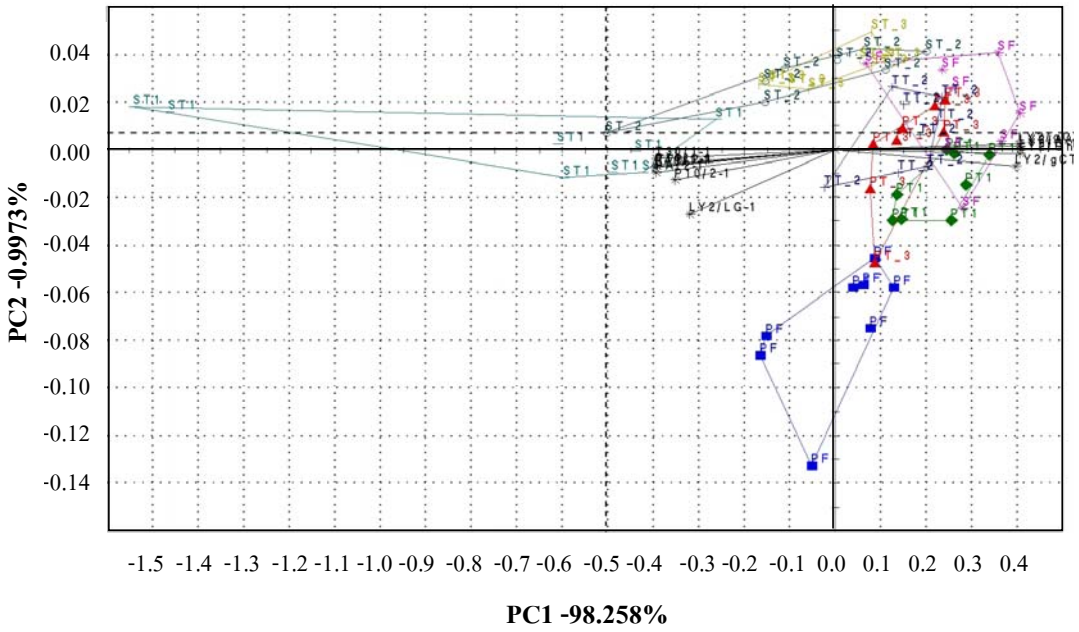
QF_IR_30DAYS = อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ AF ที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่าง 30 วัน



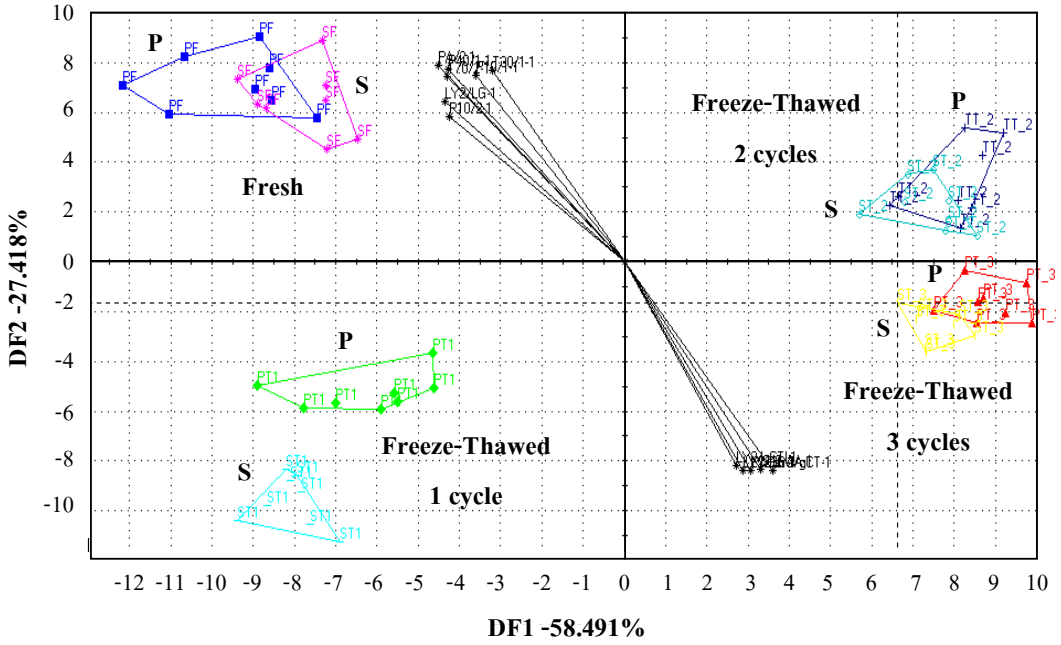
ภาพผนวกที่ ก3 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดพันธุ์ศรีราชา



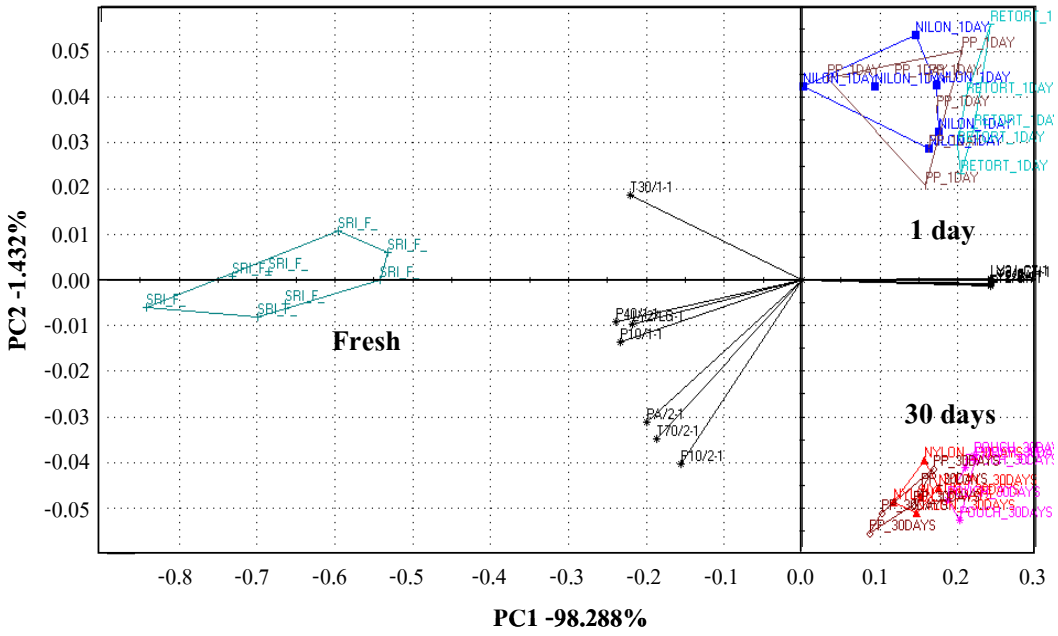
ภาพผนวกที่ ก4 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดพันธุ์ศรีราชา



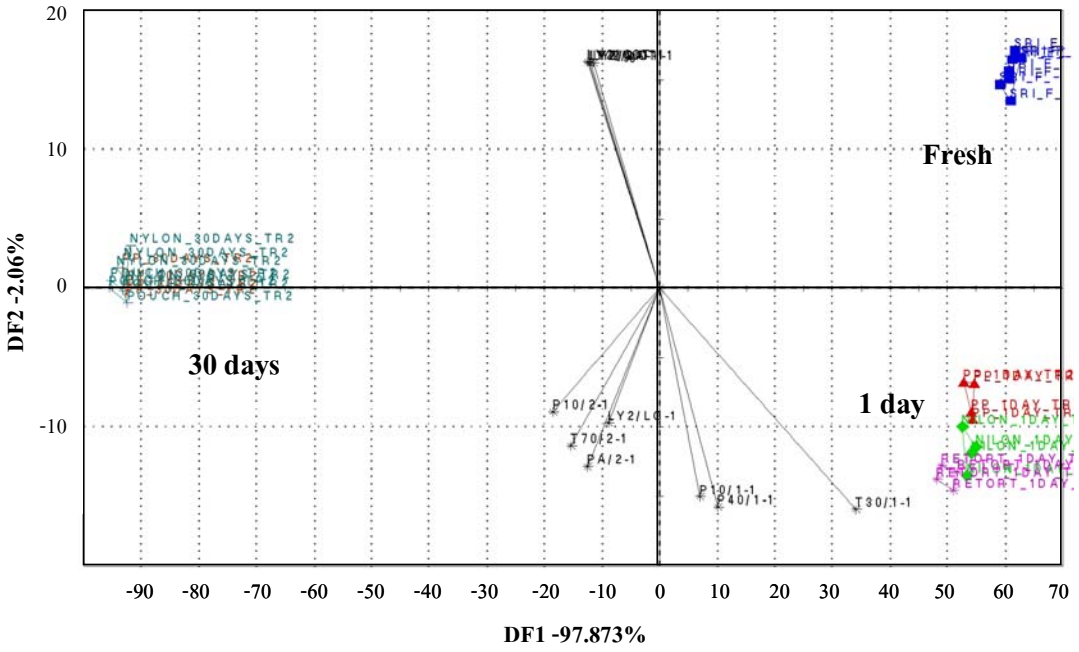
ภาพผนวกที่ ก5 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรด 2 พันธุ์



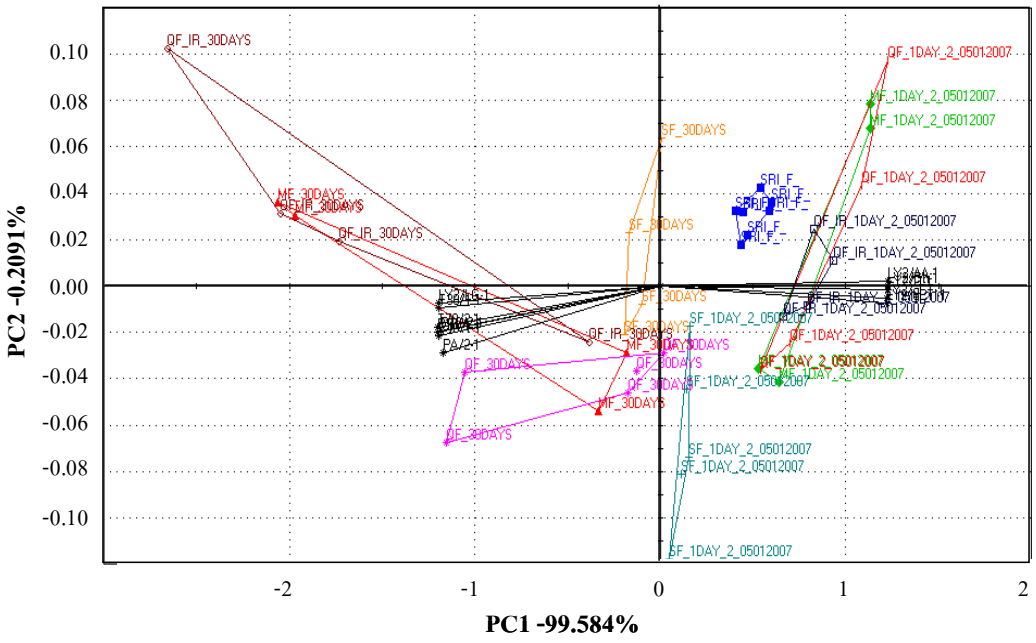
ภาพผนวกที่ ก6 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรด 2 พันธุ์



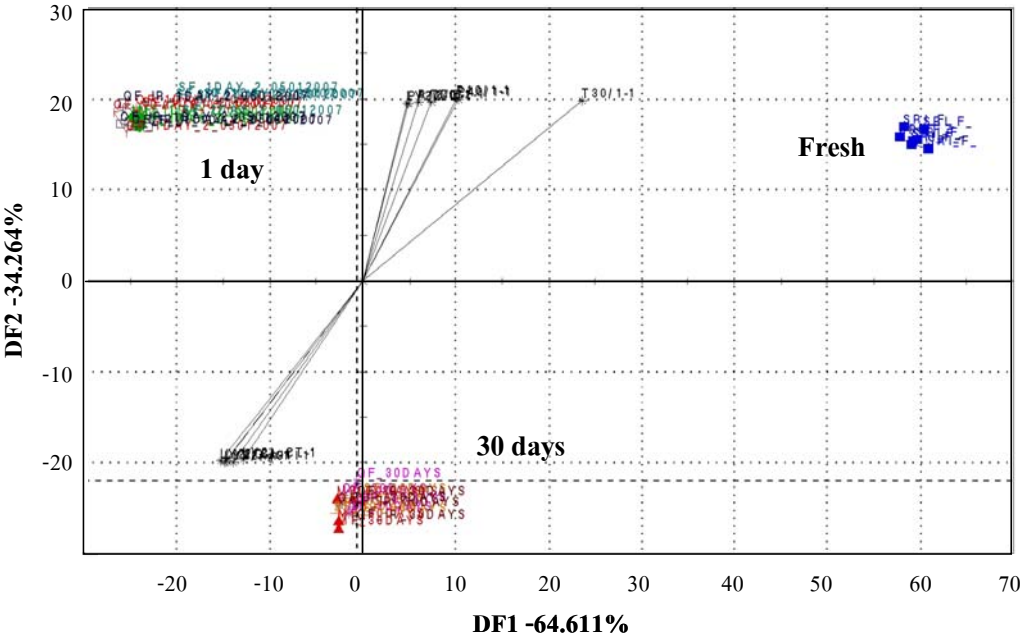
ภาพผนวกที่ ก7 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด



ภาพผนวกที่ ก8 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด



ภาพผนวกที่ ก9 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Principal Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ



ภาพผนวกที่ ก10 การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดโดยใช้วิธี Discriminate factorial analysis (DFA) ในการวิเคราะห์กลิ่นสับปะรดที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ

1. การวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

1.1 การคำนวณค่า Retention Index (RI)

$$RI = 100\,N + 100\,n \quad \frac{t_{Ra} - t_{RN}}{t_{R(N+n)} - t_{RN}}$$

เมื่อ N = จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า

n = ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัวที่ค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง

t_{Ra} = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI

t_{RN} = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า

$t_{R(N+n)}$ = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนมากกว่า

1.2 การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

$$C_s = \frac{C_I \times A_s \times V_I \times r}{A_I \times W_s}$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตัวอย่าง หรือ ppm)

C_I = ความเข้มข้นของ internal standard (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

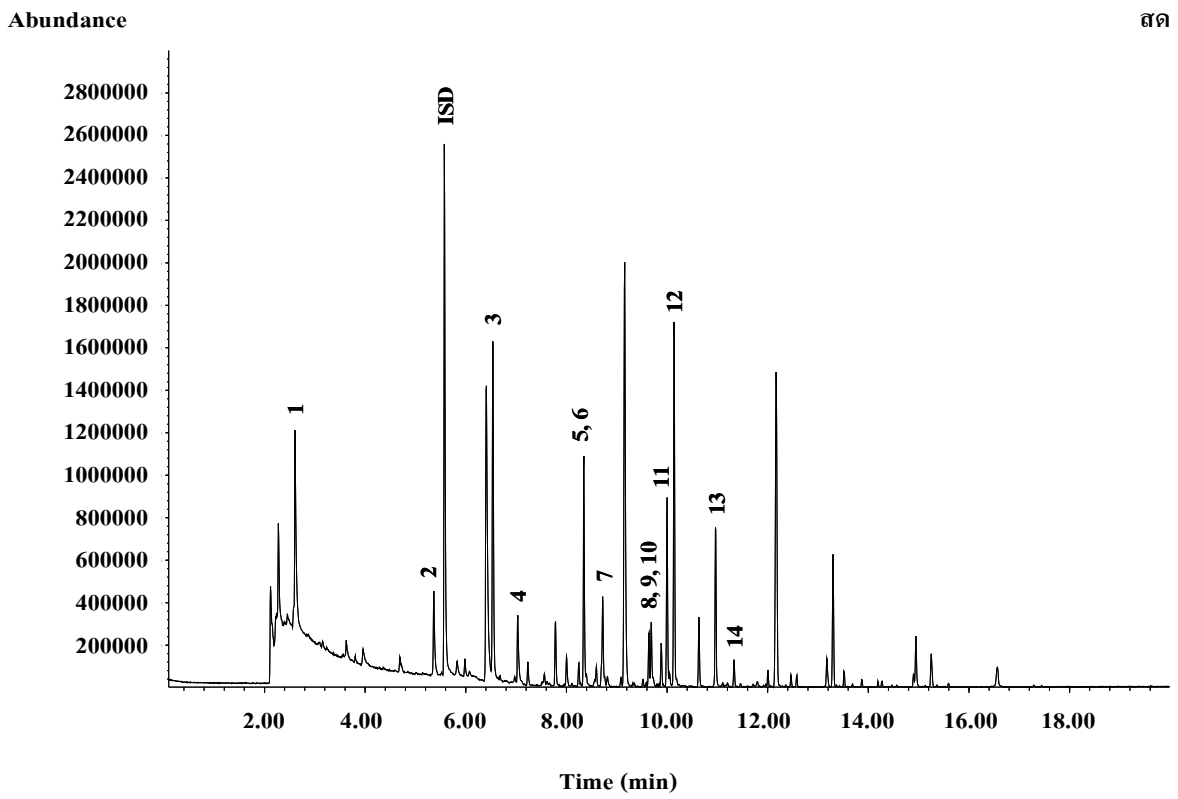
A_s = พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง

A_I = พื้นที่ใต้พีคของ internal standard

V_I = ปริมาตรของ internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)

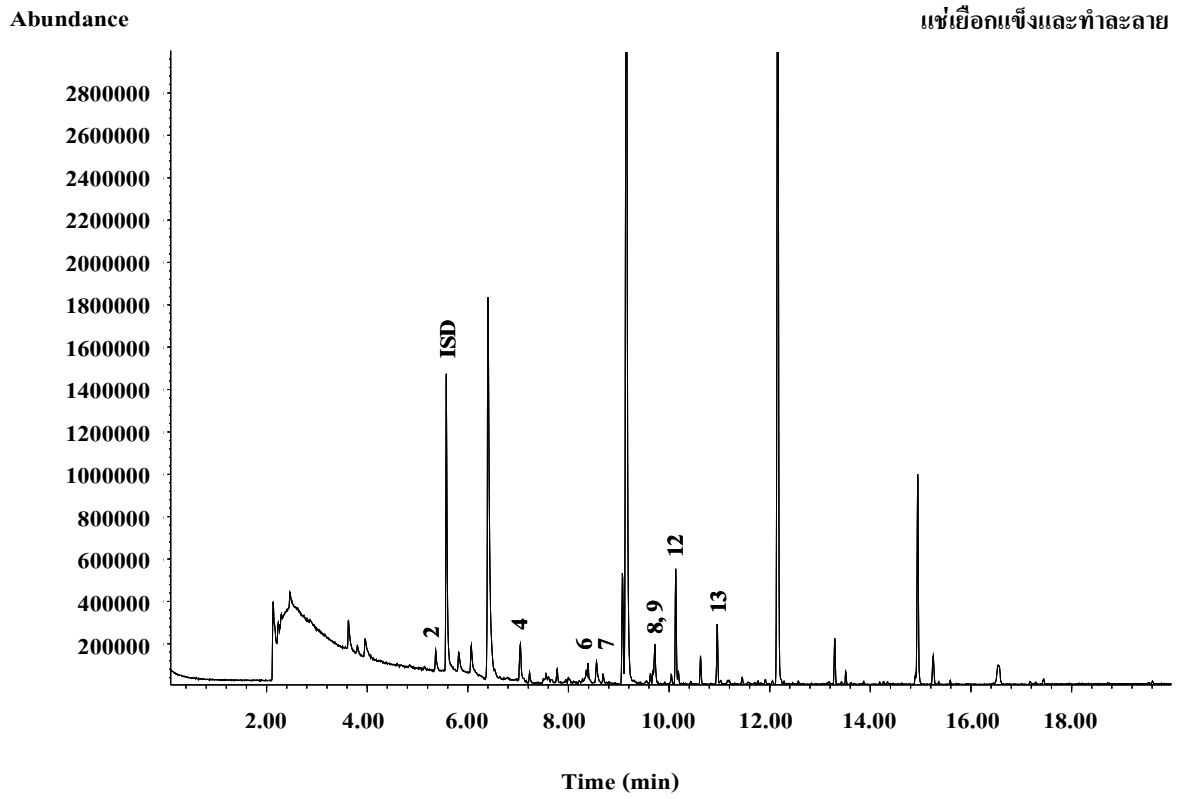
W_s = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

r = response factor ของสารระเหย กำหนดให้เท่ากับ 1.0



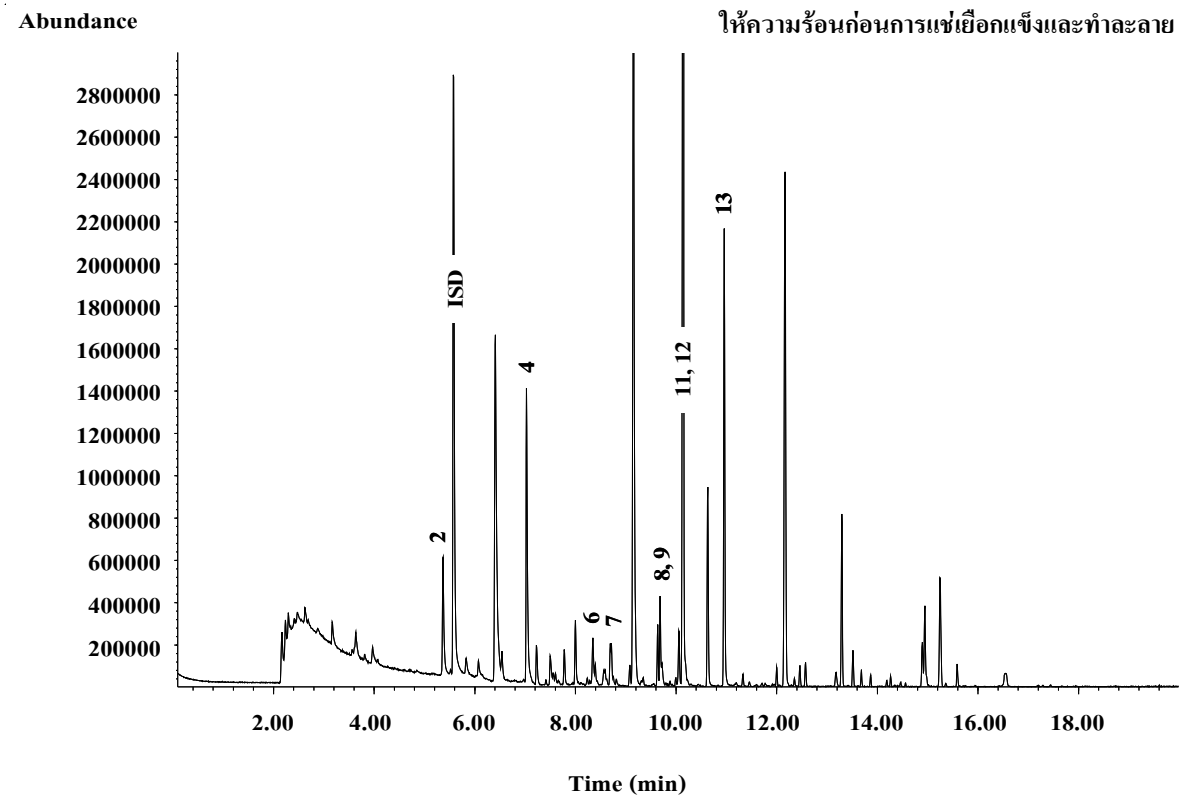
ภาพผนวกที่ ก11 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาสด

หมายเหตุ ISD คือ internal standard



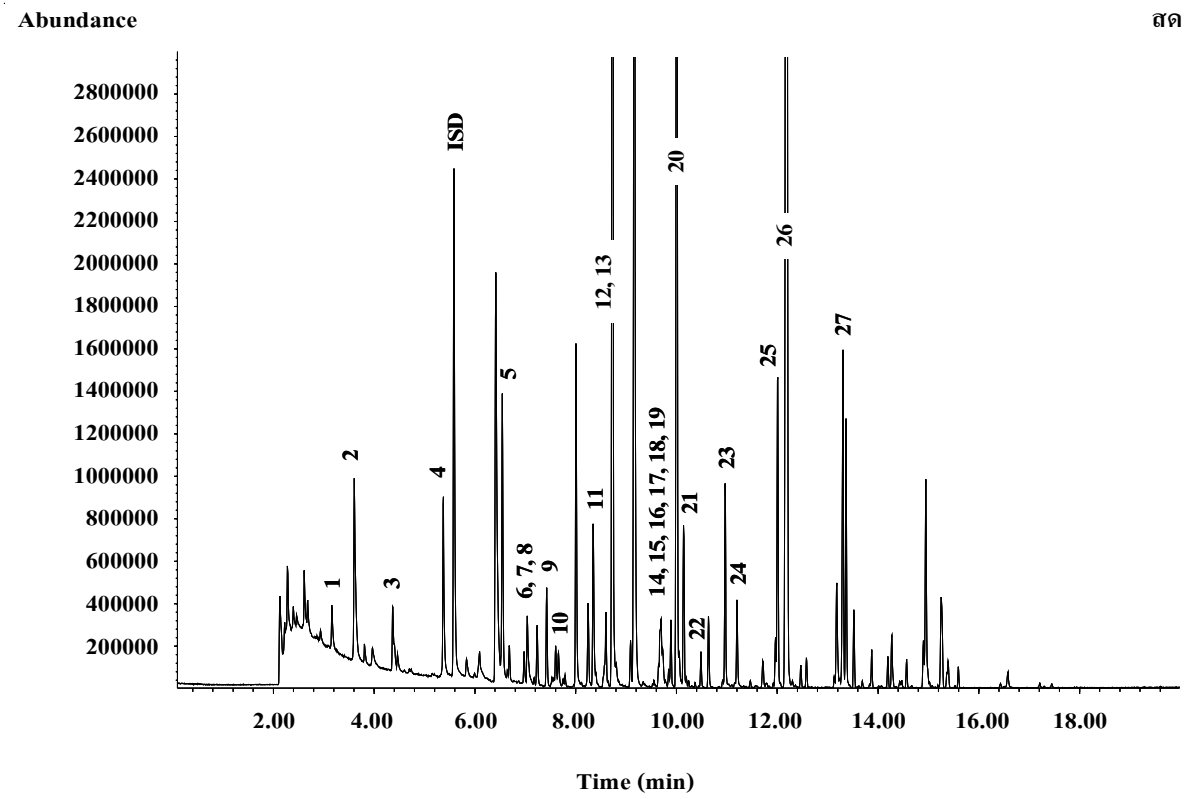
ภาพผนวกที่ ก12 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

หมายเหตุ ISD คือ internal standard



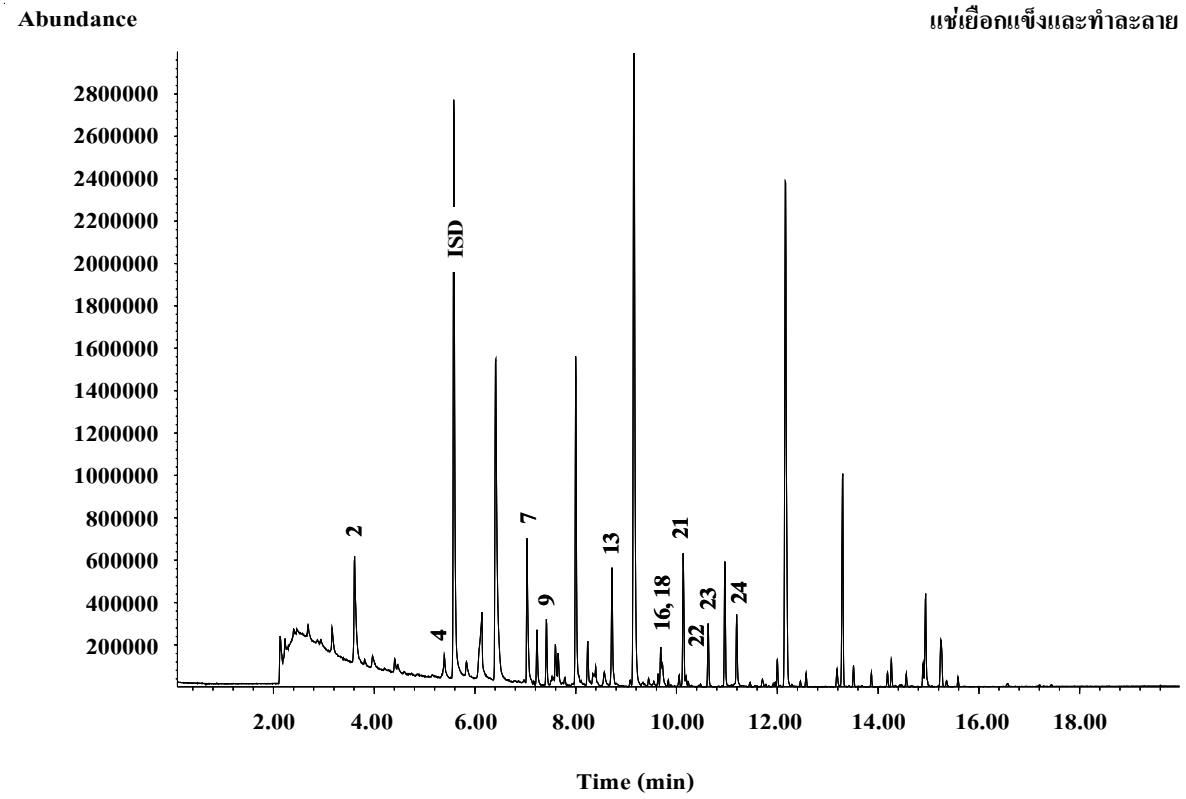
ภาพผนวกที่ ก13 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ศรีราชาที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

หมายเหตุ ISD คือ internal standard



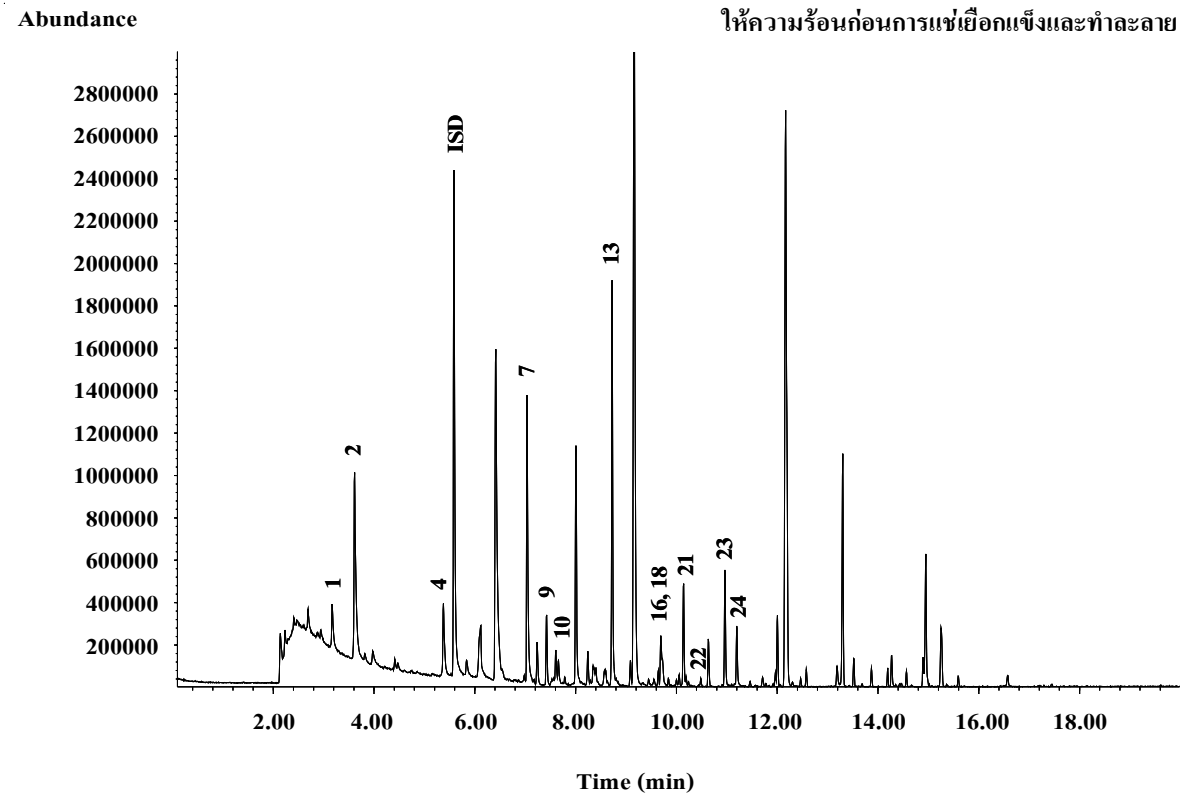
ภาพผนวกที่ ก14 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตสด

หมายเหตุ ISD คือ internal standard



ภาพผนวกที่ ก15 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

หมายเหตุ ISD คือ internal standard



ภาพผนวกที่ ก16 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการแช่เยือกแข็งและทำละลาย

หมายเหตุ ISD คือ internal standard

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ข1

<u>แบบทดสอบ</u>

ชื่อผู้ทดสอบชิม_____วันที่ทำการทดสอบ_____

<u>การกำหนดคะแนนการเปลี่ยนแปลงกลิ่น</u>

กรุณาชิมตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ศรีราชา โดยเริ่มจากรหัสตัวอย่างแรกที่กำหนดให้ แล้วให้**คะแนน**ระดับของการเปลี่ยนแปลงกลิ่นดังนี้ โดยมีระดับ 0-6

<u>ความหมายของคะแนน</u>

0 = ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น
1 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นน้อยที่สุด
2 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นน้อย
3 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นปานกลาง
4 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นค่อนข้างมาก
5 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมาก
6 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง

	☐	☐	☐	☐	☐
การเปลี่ยนแปลงกลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....

หมายเหตุ .....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข2

<u>แบบทดสอบ</u>

ชื่อผู้ทดสอบชิม_____วันที่ทำการทดสอบ_____

<u>การกำหนดคะแนนการเปลี่ยนแปลงกลิ่น</u>

กรุณาชิมตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต โดยเริ่มจากรหัสตัวอย่างแรกที่กำหนดให้ แล้วให้**คะแนน**ระดับของการเปลี่ยนแปลงกลิ่นดังนี้ โดยมีระดับ 0-6

<u>ความหมายของคะแนน</u>

0 = ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น
1 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นน้อยที่สุด
2 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นน้อย
3 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นปานกลาง
4 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นค่อนข้างมาก
5 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมาก
6 = มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง

	☐	☐	☐	☐	☐
การเปลี่ยนแปลงกลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....

หมายเหตุ .....

.....

.....

.....

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวทิพย์ธิดา แก้วตาทิพย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 16 กรกฎาคม 2525
สถานที่เกิด	ยะลา
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	1. นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่อง Analysing effect of freeze-thaw cycle on off-flavor of pineapple using an electronic nose technique ใน The 10th International Symposium on the Properties of Water, Bangkok, Thailand, September 2-7, 2007. 2. นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่องผลของบรรจุภัณฑ์และอัตราการแช่เยือกแข็งต่อการเกิด off-odor ในสับปะรดแช่เยือกแข็ง ในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 46 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 29 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2551 3.นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย เรื่องผลของพันธุ์และการแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อกลิ่นของสับปะรด ในการสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 6 ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว : หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 14 – 15 สิงหาคม 2551
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2549