



**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**  
**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

.....  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

**ปริญญา**

.....  
วิทยาศาสตร์การอาหาร

.....  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

**สาขา**

**ภาควิชา**

**เรื่อง** ผลของการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ และกระบวนการอัลตราฟิльтраชันน้ำสับประรด ที่มีต่อสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชัน

Effects of Controlled Atmosphere Storage of Pineapple and Ultrafiltration Process of Pineapple Juice on Aroma Volatile Compounds, Vitamin C Contents and Antioxidant Capacity

**นามผู้วิจัย** นางสาวสุธาสินี ชื่นทอง

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

.....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D. )

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจานันตกุล, Ph.D. )

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....  
( อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D. )

**หัวหน้าภาควิชา**

.....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจานันตกุล, Ph.D. )

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

.....  
( รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr. )

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

**สิงสิงห์ มทาวินยาลัยเกษตรศาสตร์**

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ และกระบวนการอัลตราฟิเตรชันน้ำ  
สับประรด ที่มีต่อสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชัน

Effects of Controlled Atmosphere Storage of Pineapple and Ultrafiltration Process of Pineapple  
Juice on Aroma Volatile Compounds, Vitamin C Contents and Antioxidant Capacity

โดย

นางสาวสุธาณี ชื่นทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรจารย์การอาหาร)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุขาสินี ชื่นทอง 2553: ผลของการเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ และ  
กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันน้ำสับปะรด ที่มีต่อสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และ  
ความสามารถด้านออกซิเดชัน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขา  
วิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรัณณี จิรภาควัฒกุล, Ph.D. 129 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ และกระบวนการอัล  
ตราฟิลเตรชันน้ำสับปะรด ที่มีต่อสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชัน โดย  
วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ตรวจสอบ  
ปริมาณวิตามินซีโดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) และศึกษาความสามารถด้าน  
ออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) และ oxygen radical absorbance capacity  
(ORAC) พบว่าสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งให้กลิ่นสับปะรดคือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-  
furanone, ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, methyl hexanoate และ  
methyl 3-(methylthio) propanoate นอกจากนี้ สารระเหยให้กลิ่นสำคัญชนิดอื่นๆ ที่มีคุณลักษณะกลิ่นผลไม้  
ได้แก่ ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate การเก็บรักษาสับปะรดภายใต้  
สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์  
ร้อยละ 5 และ 10 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของ  
สับปะรด ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชันได้ดีกว่าการเก็บในสภาพบรรยากาศปกติอย่างมี  
นัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเฉพาะการเก็บรักษาสับปะรดในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊ส  
ออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 หรือ 10 ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้  
กลิ่นสำคัญได้ตลอดอายุการเก็บรักษานาน 21 วัน และยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีและ  
ความสามารถด้านออกซิเดชันไว้ได้ดี ในการผลิตน้ำสับปะรดด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันซึ่งใช้เมมเบรน  
ที่มี molecular weight cut-off (MWCO) 100 กิโลดาลตัน เปรียบเทียบกับการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 96 องศา  
เซลเซียส เวลา 30 วินาที พบว่า กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันสามารถรักษาสารระเหยให้กลิ่นสำคัญไว้ได้ โดย  
พบสารสำคัญที่ให้กลิ่นสับปะรด 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ทั้งในส่วนของเพอมีเอทและ  
รีเทนเทท ส่วนสารให้กลิ่นสำคัญอื่นๆ ยังคงอยู่ในส่วนของรีเทนเทท ขณะที่การพาสเจอร์ไรส์ทำให้สารให้กลิ่น  
สำคัญทั้งหมดมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-  
furanone ลดลงอย่างมาก และการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันยังช่วยลดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีและ  
ความสามารถด้านออกซิเดชันได้ โดยน้ำสับปะรดผสมซึ่งได้จากการผสมส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททพาส  
เจอร์ไรส์ มีคุณภาพทางด้านกลิ่นรสและวิตามินซีใกล้เคียงกับน้ำสับปะรดสด

---

ลายมือชื่อนิสิต

---

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sutasinee Chintong 2010: Effects of Controlled Atmosphere Storage of Pineapple and Ultrafiltration Process of Pineapple Juice on Aroma Volatile Compounds, Vitamin C Contents and Antioxidant Capacity. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Wannee Jirapakkul, Ph.D. 129 pages.

Effects of controlled atmosphere storage of pineapple and ultrafiltration process of pineapple juice on aroma volatile compounds, vitamin C contents and antioxidant capacity were investigated. Volatile compounds were analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Vitamin C contents were examined using high performance liquid chromatography (HPLC). The antioxidant capacity was evaluated by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) methods. The results showed that the predominant aroma volatile compounds which described as pineapple aroma were 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, methyl hexanoate and methyl 3-(methylthio) propanoate. In addition, some volatile compounds with fruity aroma were ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate and ethyl 2-methylpropanoate. Controlled atmosphere (CA) storage of pineapple by using the combinations of 2% and 5% O<sub>2</sub> with 5% and 10% CO<sub>2</sub> at 12 °C could delay the alteration of predominant aroma volatile compounds, vitamin C and antioxidant capacity better than with normal atmosphere storage ( $p \leq 0.05$ ). The optimum CA storage for pineapple was at 5% O<sub>2</sub> in combination with 5% or 10% CO<sub>2</sub>. This storage could maintain the predominant aroma volatile compounds, vitamin C contents and antioxidant capacity during three weeks of storage. The quality of pineapple juice by ultrafiltration process (membrane molecular weight cut-off (MWCO) of 100 kDa) was compared with pasteurization at 96 °C 30 s. The ultrafiltration could preserve predominant aroma volatile compounds. The major compound of pineapple aroma, 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, was found in both permeate and retentate. However, most aroma volatile compounds remained in the retentate. Pasteurization of pineapple juice brought about the decrease in both type and concentration of aroma volatile compounds ( $p \leq 0.05$ ). The concentration of 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone was dramatically decreased from the fresh pineapple juice. Furthermore, ultrafiltration could reduce the loss of vitamin C and antioxidant capacity of pineapple juice. Flavor and vitamin C of mixed pineapple juice, combination of permeate with pasteurized retentate, were close to those of fresh juice.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล และ ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา อบรมสั่งสอน และแนะนำในเรื่องการเรียน  
งานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ  
รศ. ดร. โชคชัย ชีร์กุลเกียรติ ประธานการสอบสัมภาษณ์ขั้นสุดท้าย และ รศ. ดร. ทนง ภัครัชพันธุ์  
ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงาน  
ส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนา  
อุตสาหกรรม ประจำปี 2550 และ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่ดี  
เสมอมา

ขอขอบคุณพลอย น้อง เอ็กซ์ ยิ้ม เนต และ พี่ๆ น้องๆ ห้อง 2313 และ 2411 ทุกคน  
โดยเฉพาะ พี่ต่าย พี่ส้ม น้องป่าน น้องชมพู่ รมมณี รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะอุตสาหกรรม  
เกษตรทุกคน ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการเรียน เรื่องงานวิจัย คอยสอน ให้กำลังใจ และให้ความ  
ช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวทุกคนที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ  
ต่างๆ ส่งเสริม และเข้าใจข้าพเจ้าตลอดมา

สุชาสินี ชื่นทอง  
มิถุนายน 2553

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	77
สรุป	77
ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	92
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี	93
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี	108
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชัน	112
ภาคผนวก ง การประเมินทางประสาทสัมผัส	118
ภาคผนวก จ ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ	122
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	129

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับความบริสุทธิ์ของสับปะรดโดยใช้สีเปลือกเป็นดัชนี	6
2	องค์ประกอบและคุณค่าทางอาหารของเนื้อสับปะรดสุก	7
3	สารระเหยให้กลิ่นในเนื้อสับปะรด	11
4	ปริมาณวิตามินซีในผลไม้สด	15
5	ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหยในน้ำสับปะรดสด	40
6	ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	51
7	ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	52
8	ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	53
9	ร้อยละการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสับปะรดสด	58
10	ร้อยละการลดลงของความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH และ ORAC ในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสับปะรดสด	61

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับปรดสด น้ำสับปรดในส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับปรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับปรดผสม	67
12	คะแนนความแตกต่างทางด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมระหว่างส่วนเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับปรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับปรดผสมเปรียบเทียบกับน้ำสับปรดสด (ตัวอย่างควบคุม)	75
<b>ตารางผนวกที่</b>		
จ1	อัตราการหายใจของสับปรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	123
จ2	อัตราการผลิตเอทิลีนของสับปรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	124
จ3	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	125

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ4	ปริมาณเอทานอลของสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	126
จ5	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	127
จ6	ความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH และ ORAC ของสับประรดระหว่างการเก็บรักษานสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	128

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้างของ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, ethyl 2-methylpropanoate, ethyl 2-methylbutanoate และ ethyl butanoate	10
2	โครงสร้างทางเคมีของ DPPH	17
3	กราฟการลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์สัมพันธ์ของตัวอย่างและสารมาตรฐาน	19
4	อัตราการหายใจ (A) และอัตราการผลิตเอทิลีน (B) ของผลสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	45
5	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (A) และปริมาณเอทานอล (B) ในสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	48
6	ความเข้มข้นสัมพันธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	54
7	ความเข้มข้นสัมพันธ์ของ 2-pentanol (A) และ 2,3-butanediol (B) ในสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	55
8	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A) ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (B) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (C) ในสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	57

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
9	ความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH (A) และ ORAC (B) ในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน	60
10	การลดลง (ร้อยละ) ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของน้ำสับปะรดพาสเจอร์ไรส์	65
11	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A) ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (B) ปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (C) ของน้ำสับปะรดสด ส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับปะรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับปะรดผสม	69
12	ความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH (A) และ ORAC (B) ของน้ำสับปะรดสด ส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับปะรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับปะรดผสม	71
13	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างปริมาณวิตามินซีและความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH (A) และ ORAC (B)	73
14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ (ร้อยละ) ในน้ำสับปะรดส่วนเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับปะรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับปะรดผสม เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสับปะรดสด	76
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ก1	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	95
ก2	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	96
ก3	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดที่ได้จากผลสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 21 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	97

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
ก4	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดที่ได้จากผลสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 21 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	98
ก5	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดที่ได้จากผลสับปะรดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 7 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	99
ก6	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดที่ได้จากผลสับปะรดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 14 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	100
ก7	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดที่ได้จากผลสับปะรดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 21 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5	101
ก8	โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดพาสเจอร์ไรส์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP	102
ก9	อุปกรณ์แผงควบคุมอัตราการไหล	105
ก10	แผนผังของชุดการทดลองกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน	105
ก12	เพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำสับปะรดที่ผ่านกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งใช้เมมเบรนโพลีซัลโฟนแบบเส้นใยกลวงที่มี MWCO 100,000 ใช้สภาวะในการกรองที่ความดัน (TMP) 100 กิโลปาสคาล และความเร็วในการไหลของสารป้อนในทิศทางขนานกับเมมเบรน 1.18 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	107
ข1	กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (A), กราฟมาตรฐานของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (B) และกราฟมาตรฐานของกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) (C)	109
ข2	ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก	110
ข3	ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก	110
ข4	ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดไอโซแอสคอร์บิก	110
ข5	ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) และกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) ของน้ำสับปะรดสด โดย HPLC	111

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข6 ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) ของน้ำสับประคสด โดย HPLC	111
ค1 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	114
ค2 กราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Trolox	117

ผลของการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ และกระบวนการอัลตรา  
ฟิลเตรชันน้ำสับประรด ที่มีต่อสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถ  
ต้านออกซิเดชัน

**Effects of Controlled Atmosphere Storage of Pineapple and Ultrafiltration  
Process of Pineapple Juice on Aroma Volatile Compounds, Vitamin C Contents  
and Antioxidant Capacity**

คำนำ

สับประรดจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีคุณลักษณะด้านกลิ่นรสที่ดีเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น สับประรดกระป๋อง น้ำสับประรดพร้อมดื่ม น้ำสับประรดเข้มข้น สับประรดอบแห้ง เป็นต้น อุตสาหกรรมน้ำสับประรดเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ที่มีการขยายตัวอย่างมาก ในปี 2540 ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำสับประรดรายใหญ่ของโลก คิดเป็นร้อยละ 34 ของมูลค่าการส่งออกรวมของโลก (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2542) แต่ในบางฤดูกาลปริมาณผลผลิตสับประรดซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำสับประรดมีมากจนไม่สามารถนำมาผลิตน้ำสับประรดพร้อมบริโภคได้ทัน จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาสับประรดไว้ก่อนทำการผลิต เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวสับประรดจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะสารระเหยให้กลิ่นและสารสำคัญที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ด้วยเหตุนี้ การเก็บรักษาสับประรดในสถานะที่มีอุณหภูมิต่ำเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีความจำเป็น Kader (1996) รายงานว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาสับประรดสดนาน 2 สัปดาห์คือ 10-13 องศาเซลเซียส สำหรับสับประรดที่ค่อนข้างสุกและ 7-10 องศาเซลเซียส สำหรับสับประรดสุก ส่วนปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาสับประรดสด คือ ร้อยละ 85-90 แต่การเก็บรักษาผลสับประรดที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานมีผลทำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) หรืออาจเรียกว่าอาการไส้สีน้ำตาล (internal browning) (Paull and Rohrbach, 1985) ซึ่งมีผลทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์ไปและปริมาณวิตามินซีลดลง (จริงแท้, 2549) จึงได้มีการนำเทคโนโลยีการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศเข้ามาช่วย โดยการควบคุมความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าร้อยละ 0.03 และแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 21 และคงสภาพความเข้มข้นของแก๊สไปตลอดอายุการเก็บรักษา การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศทำให้ผลิตภัณฑ์มีเมตาบอไลต์ลดลง จึงลดกระบวนการ

เปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพได้ (จริงแท้, 2549) Kader (1993, 2003) รายงานว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาสับปะรด คือ ในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2-5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-10 ที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส แต่เก็บรักษาผลสับปะรดในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 2 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 10 จะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ

สำหรับการผลิตน้ำผลไม้ในปัจจุบันนั้นอาศัยความร้อนสูงในการแปรรูป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส (Aguilar-Rosas *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 1986) และคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะวิตามินซีของน้ำผลไม้ได้ การศึกษาของ Rattanathanalerk *et al.* (2005) พบว่า การให้ความร้อนสูงกับน้ำสับปะรดทำให้เกิดสารสีน้ำตาล เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์และสูญเสียกลิ่นรสที่ดีของน้ำสับปะรด นอกจากนี้วิตามินซีซึ่งมีคุณสมบัติไม่ทนต่อความร้อน จะเกิดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน โดยขั้นตอนการฆ่าเชื้อโดยวิธีพาสเจอร์ไรซ์ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีประมาณร้อยละ 25 และการฆ่าเชื้อโดยวิธีสเตอริไรซ์ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีประมาณร้อยละ 60 (Ottaway, 1993) การแปรรูปที่ไม่ใช้ความร้อนสูง จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกลิ่นรสของน้ำสับปะรดเนื่องจากความร้อนได้ การนำกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมาใช้ในการผลิตน้ำผลไม้ นอกจากทำให้น้ำผลไม้ใสแล้ว ยังเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนสูง จึงช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (Hernandez *et al.*, 1992; de Carvalho *et al.*, 1998) และช่วยในการกักสารให้กลิ่นซึ่งเป็นสารที่ระเหยง่ายได้อีกด้วย (Yu *et al.*, 1986)

ดังนั้นการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศ เพื่อให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสับปะรดก่อนนำไปผลิตเป็นน้ำสับปะรดพร้อมบริโภค และศึกษาผลของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันต่อการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชันของน้ำสับปะรดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่อุณหภูมิต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชัน
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน และการใช้ความร้อนในการผลิตน้ำสับประรดต่อสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชัน



## การตรวจเอกสาร

### สับปะรด

#### 1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์สับปะรด

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

พันธุ์สับปะรด (*A. comosus*) ที่ปลูกเป็นการค้าทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ตามรูปร่างลักษณะของใบและผล ดังนี้ คือ กลุ่ม Cayenne, Queen, Pernambuco, Spanish และ Mordilona สำหรับพันธุ์สับปะรดที่ปลูกในประเทศไทยนั้นพบอยู่เพียง 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม Cayenne, Queen และ Spanish ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกสำหรับแปรรูป บริโภคสด หรือส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวียซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Cayenne และพันธุ์เก็ดซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Queen สับปะรดทั้ง 2 พันธุ์นี้มีลักษณะเด่นสำคัญที่แตกต่างกัน ดังนี้ (จารุพันธุ์, 2526)

#### 1. พันธุ์ปัตตาเวีย

เป็นสับปะรดในกลุ่ม Cayenne หรือ Smooth Cayenne ได้รับความนิยมปลูกมากที่สุด ในประเทศไทย แหล่งปลูกที่สำคัญในปัจจุบันคือ ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี และลำปาง สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีลักษณะสำคัญคือ ขอบใบเรียบมีหนามเล็กน้อยบริเวณปลายใบ ผลมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน หนักประมาณ 2.3-3.6 กิโลกรัม หากผลมีขนาดใหญ่จะมีรูปทรงใหญ่ ปลายเรียว (conical shape) หากผลมีขนาดเล็กมักเป็นทรงกลม (spherical shape) หรือป้อม หรือทรงกระบอก (cylindrical shape) เปลือกผลเมื่อดิบจะมีสีเขียวเข้ม เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มประมาณครึ่งผลด้านล่าง เนื้อมีสีเหลืองอ่อนแต่จะเปลี่ยนเป็นสีเข้มในฤดูร้อน ตาตั้ง เยื่อใยปานกลาง เนื้อนุ่ม ฉ่ำน้ำ รสชาติดี โดยเฉลี่ยมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ร้อยละ 0.3-0.7 และ

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 12-16 นิยมปลูกไว้เพื่อบริโภคสดและเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมสับประรดกระป๋อง

## 2. พันธุ์เกิดหรือพันธุ์ตราดสีทอง

เป็นสับประรดในกลุ่ม Queen ปลูกกันมากในจังหวัดภูเก็ตและชุมพร มีลักษณะที่สำคัญคือ ใบมีสีเขียวปนแดง ขอบใบมีหนาม ผลมีขนาดเล็กประมาณหนึ่งกิโลกรัม รูปร่างแบนทรงกระบอก ผลย่อยนูน ตาลึก เปลือกหนา เมื่อสุกเปลือกจะมีสีเหลือง เนื้อมีสีเหลืองเข้มและมีช่องว่าง (โพรง) ขนาดใหญ่ หวานกรอบ เนื้อน้อย กลิ่นหอม แคนผลอ่อนนุ่มกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย โดยเฉลี่ยมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ร้อยละ 0.5-0.7 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 16-18 เหมาะสำหรับบริโภคสด

## 2. ลักษณะทางคุณภาพ องค์ประกอบและสารระเหยให้กลิ่นของสับประรด

สับประรดจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ โดยมีอัตราการหายใจอยู่ในช่วง  $22 \text{ mlCO}_2/\text{kg}\cdot\text{hr}$  ที่อุณหภูมิ  $23^\circ\text{C}$  องศาเซลเซียส มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่ถึงจุดสูงสุด (ethylene climacteric) อย่างเห็นได้ชัด โดยสับประรดจัดว่าเป็นผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนต่ำในช่วง  $0.1-1.0 \text{ }\mu\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{hr}$  (Paull, 1997) จึงควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลบริบูรณ์ (maturity) พร้อมทั้งบริโภค เพราะหลังการเก็บเกี่ยวสับประรดจะไม่มีการพัฒนาในระดับความบริบูรณ์ให้เพิ่มมากขึ้น ผลสับประรดควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อย่างน้อยร้อยละ 12 และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่เกินร้อยละ 1 จึงจะมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Kader, 1996)

การกำหนดระดับความบริบูรณ์ (maturity) ของผลสับประรด สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีทั่วไปที่นิยมใช้คือ การกำหนดจากสีของเปลือกสับประรด (ตารางที่ 1) เนื่องจากการใช้สีเปลือกเป็นดัชนีวัดระดับความบริบูรณ์เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และเหมาะสมสำหรับสับประรดที่ปลูกในเขตร้อน ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศเหมือนกันตลอดทั้งปี (Abd Shukor *et al.*, 1998)

## ตารางที่ 1 ระดับความบริบูรณ์ของสับปะรดโดยใช้สีเปลือกเป็นดัชนี

ระดับความบริบูรณ์ของสับปะรด	ลักษณะของสีเปลือก
0	สีของเปลือกเขียวเข้มทั้งผล
1	มีสีเหลืองประมาณร้อยละ 5-10 ของผล
2	มีสีเหลืองประมาณร้อยละ 10-35 ของผล
3	มีสีเหลืองประมาณร้อยละ 35-70 ของผล
4	มีสีเหลืองเกือบทั้งผลประมาณร้อยละ 70-80 ของผล

ที่มา: Bartholomew *et al.* (2003)

สับปะรดเป็นผลไม้เขตร้อนที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เพราะมีกลิ่นและรสชาติที่ดี และอุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย องค์ประกอบของเนื้อสับปะรดสุก ประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 80 นอกจากนี้เนื้อสับปะรดสุกยังประกอบไปด้วยน้ำตาล วิตามิน ไออาหาร และแร่ธาตุต่างๆ ดังตารางที่ 2

สับปะรดจัดอยู่ในกลุ่มของผลไม้ที่มีวิตามินซีค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ในช่วง 15-50 มิลลิกรัมต่อ ส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ปริมาณวิตามินซีในสับปะรดค่อนข้างผันแปร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาลที่ เก็บเกี่ยว สายพันธุ์ การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูป (Hodgson and Hodgson, 1993)

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีอยู่มากในเนื้อสับปะรดส่วนที่อยู่ใกล้เปลือก ส่วนบริเวณแกนมี กรดแอสคอร์บิกอยู่น้อยมาก และในผลสับปะรดที่แก่จัด มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกน้อยกว่า ผล สับปะรดที่มีอายุน้อยกว่า ซึ่งจะแตกต่างออกไปในสับปะรดพันธุ์ต่างๆ (จารุพันธ์, 2526) ในช่วง ก่อนที่สับปะรดสุกมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก 20.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่กินได้และจะ ลดลงเป็น 11.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่กินได้ เมื่อสุกเต็มที่ (Kermasha *et al.*, 1987) Vinci *et al.* (1995) ยังพบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกในสับปะรดที่ยังสุกไม่เต็มที่ลดลงจาก 30.6 เป็น 18.12 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่กินได้ เมื่อทิ้งไว้ให้สุก เป็นเวลา 1 สัปดาห์

## ตารางที่ 2 องค์ประกอบและคุณค่าทางอาหารของเนื้อสับประดสุก

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
<b>น้ำตาล (ร้อยละของน้ำหนักสด)</b>	
ซูโครส	5.9-12.0
กลูโคส	1.0-3.2
ฟรุคโตส	0.6-2.3
เซลลูโลส	0.43-0.54
<b>กรด (ร้อยละของน้ำหนักสด)</b>	
กรดซิตริก	0.32-1.22
กรดมาลิก	0.1-0.47
กรดออกซาลิก	0.005
<b>สารระเหย (ไมโครกรัมต่อกรัม)</b>	
เอสเทอร์	0.2-2.5
<b>รงควัตถุ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)</b>	
แคโรทีน	0.13-0.29
แซนโทฟิล	0.03
<b>วิตามิน (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)</b>	
กรดพารา-อะมิโนเบนโซอิก	17-22
กรดโฟลิก	2.5-4.8
ไนอาซิน	200-280
กรดแพนโทธีนิก	75-163
ไรโบฟลาวิน	69-125
ไรโบฟลาวิน	20-88
วิตามิน-บี6	10-140
วิตามิน-เอ	0.02-0.04
กรดแอสคอร์บิก	10-25

ที่มา: คัดแปลงจาก Dull (1971)

เนื่องจากกลิ่นของสับปะรดเป็นกลิ่นของผลไม้ที่ได้รับความนิยม จึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับสารระเหยในสับปะรดในประเทศต่างๆ มากมาย ทั้งในแถบทวีปอเมริกาและยุโรป สารระเหยที่พบมีมากกว่า 100 ชนิด ได้เริ่มมีการศึกษากลิ่นสับปะรด โดยใช้เทคนิคพิเศษทางอินทรีย์เคมี (Haagen-Smit *et al.*, 1945) โดยนำสับปะรดพันธุ์ฮาวายมาทำการกลั่นด้วยไอน้ำ แล้วนำส่วนที่กลั่นได้มาให้เข้มข้น จากนั้นแยกส่วนผสมโดยวิธีการกลั่นลำดับส่วน ผลการวิเคราะห์พบ เอสเทอร์ 11 ชนิด กรด 1 ชนิด อัลดีไฮด์ 1 ชนิด คีโตน 1 ชนิด แอลกอฮอล์ 1 ชนิด และพบเอสเทอร์ที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์อีก 1 ชนิด คือ methyl  $\beta$ -methylthiopropionate ต่อมา Rodin *et al.* (1965) ได้ทำการศึกษารสและสารให้กลิ่นในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียของฮาวาย และสามารถจำแนกสารให้กลิ่นสำคัญที่ให้กลิ่นสับปะรดและกลิ่นคาราเมล คือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ได้เป็นครั้งแรก ซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัว สลายได้ง่ายในอากาศ

Berger *et al.* (1983) ทำการศึกษารสและสารระเหยในกลุ่ม sesquiterpene ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่ง sesquiterpene ที่พบได้แก่  $\alpha$ -copaene,  $\beta$ -ylangene,  $\alpha$ -patchoulene,  $\gamma$ -gurjunene, germacrene D,  $\alpha$ -muurolene และ  $\delta$ -cadinene และ Berger *et al.* (1985) ได้ทำการศึกษารสและสารให้กลิ่นเพิ่มเติม พบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 1-(E,Z)-3,5-undecatriene และ 1-(E,Z,Z)-3,5,8-undecatetraene น่าจะเป็นสารที่ให้กลิ่นสับปะรดสด เนื่องจากมีค่า threshold ต่ำ

Takeoka *et al.* (1989) ได้ทำการศึกษารสและสารระเหยในส่วนต่างๆ ของผลสับปะรด ได้แก่ จุก สับปะรดทั้งผลแต่ตัดจุกทิ้ง และเนื้อ พบว่าส่วนจุกประกอบด้วย สารระเหยเพียง 2-3 ชนิด และมีปริมาณน้อย ได้แก่ (Z)-3-hexenal, (E)-2-hexenal และ (Z)-hexenol ขณะที่ส่วนสับปะรดทั้งผลแต่ตัดจุกทิ้ง และเนื้อสับปะรด พบสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์ ไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ และคาร์บอนิล ซึ่งสารระเหยให้กลิ่น ที่พบอยู่ในทั้งสองตัวอย่างนี้พิจารณาจากค่า odor unit values ได้แก่ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 2-methylbutanoate, ethyl acetate, ethyl hexanoate, ethyl butanoate, ethyl 2-methylpropanoate, methyl hexanoate และ methyl butanoate นอกจากนี้ พบสารประกอบซัลเฟอร์ 3-methylthiopropyl acetate เป็นครั้งแรก ซึ่งสารประกอบนี้มีความสัมพันธ์กับ methyl และ ethyl 3-methylthiopropanoate ที่พบในแอปเปิ้ล เบียร์ ไวน์ และ บรั่นดี และ Takeoka *et al.* (1991) ได้ศึกษารสและสารระเหยที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม และพบสารประกอบซัลเฟอร์หลายชนิด ได้แก่ methyl 3-(methylthio)-(E)-2-propenoate, methyl 3-(methylthio)-(Z)-2-propenoate, ethyl 3-(methylthio)-(E)-2-propenoate, ethyl 3-(methylthio)-(Z)-2-propenoate, methyl 4-(methylthio) butanoate, ethyl 4-(methylthio) butanoate และ dimethyl trisulfide ซึ่งสารเหล่านี้มีปริมาณน้อยกว่าค่า threshold ของแต่ละสาร

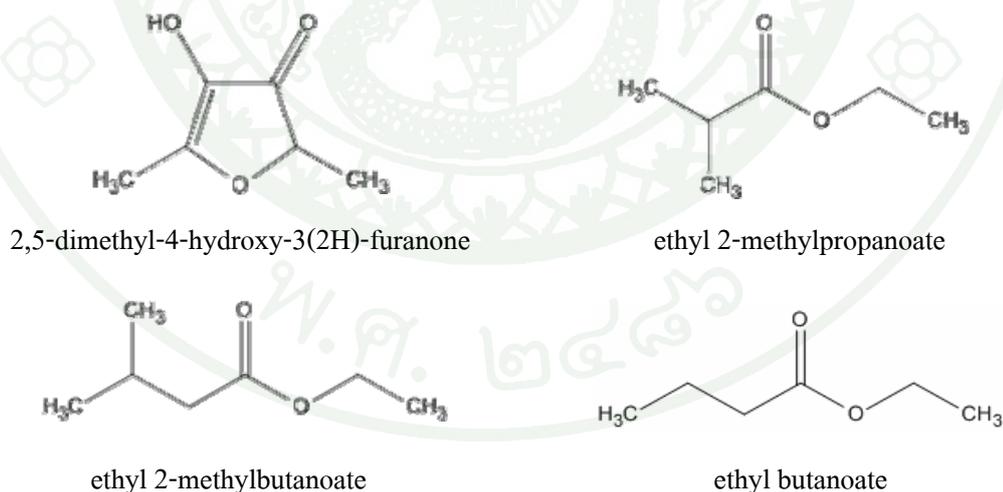
Umano *et al.* (1992) ทำการศึกษาในสับปะรดที่มีสีเขียวทั้งผลและสับปะรดสุก (ตัดผล สับปะรดส่วนล่างออกประมาณ 3 เซนติเมตร ให้เนื้อสัมผัสกับออกซิเจนเพื่อเพิ่มอัตราการหายใจ และวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน) พบสารระเหยในสับปะรดที่มีสีเขียวทั้งผลและสับปะรดสุก 144 และ 127 ชนิด ตามลำดับ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ สารระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลักในสับปะรดที่มีสีเขียวทั้งผล คือ ethyl acetate และ ethyl 3-(methylthio) propanoate ขณะที่สารระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลักสับปะรดสุก คือ ethyl acetate และ butane-2,3-diol diacetate นอกจากนี้พบ butane-2,3-diol diacetate และ 3-hydroxy-2-butanone ในปริมาณมากเมื่อสับปะรดสุกมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม methyl และ ethyl 3-methylthiopropoanoate ซึ่งมีคุณลักษณะกลิ่นสัมพันธ์กับกลิ่นสับปะรด มีปริมาณลดลงเมื่อสับปะรดสุกมากขึ้น

Wu *et al.* (1991) ศึกษาสารระเหยให้กลิ่นของสับปะรดในรูปอิสระและไกลโคไซด์ พบว่า สารระเหยในสับปะรดส่วนใหญ่อยู่ในรูปอิสระ สารระเหยในรูปอิสระที่พบมากที่สุด คือ methyl 3-acetoxyhexanoate, 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone และ methyl 5-acetoxyhexanoate ตามลำดับ ส่วนสารระเหยในรูปไกลโคไซด์ที่วิเคราะห์ได้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮดรอกซีและ แลคโตน ได้แก่ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone,  $\delta$ -octalactone และ ethyl 3-hydroxyhexanoate ตามลำดับ สารระเหยเมื่ออยู่ในรูปไกลโคไซด์จะไม่ให้กลิ่น แต่หลังจากย่อย พันธะไกลโคไซด์ด้วยเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase จะได้สารระเหยอิสระซึ่งให้กลิ่นผลไม้และกลิ่น สับปะรด

Elsa *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาสารระเหยให้กลิ่นในน้ำสับปะรดคั้นสดและผลิตภัณฑ์ จากสับปะรด ได้แก่ น้ำสับปะรดพร้อมบริโภค (single strength juice) น้ำสับปะรดเข้มข้น และ ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรด โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) พบว่า สารระเหยในน้ำสับปะรดคั้นสดมีมากกว่า 130 ชนิด สารระเหยให้กลิ่นที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (furanol) และ 2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone (mesifurane) รองลงมาเป็นสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์ ได้แก่ methyl 2-methylbutanoate, methyl 3-(methylthio) propanoate, methyl butanoate, methyl hexanoate, ethyl hexanoate และ ethyl 3-(methylthio) propanoate ส่วนสารระเหยให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ พบน้อยกว่าทั้งชนิดและปริมาณ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดเข้มข้นและแยมสับปะรด จะพบลักษณะกลิ่นที่สำคัญที่อยู่ในกลุ่ม เอสเทอร์ เช่น methyl esters และ hydroxyl หรือ acetoxy esters ในปริมาณค่อนข้างน้อย ขณะที่น้ำ สับปะรดพร้อมบริโภคมีสารระเหยให้กลิ่นใกล้เคียงกับน้ำสับปะรดคั้นสดมากที่สุด และพบสารที่

เกิดจากการให้ความร้อน ได้แก่ furfural, 3-hydroxy-(2H)-pyran-2-one, pantolactone, furaneol และ 5-(hydroxymethyl) furfural สำหรับผลิตภัณฑ์น้ำสับประรดพร้อมบริโภคน้ำที่เตรียมมาจากผลิตภัณฑ์น้ำสับประรดเข้มข้น ให้ลักษณะกลิ่นที่คล้ายกันกับผลิตภัณฑ์น้ำสับประรดเข้มข้น พบสารประกอบหลักชนิดเดียวกัน คือ furaneol และ furfural ส่วนสารประกอบที่พบในแอมสับประรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยามอลดาร์ด คือ furfural และ 5-(hydroxymethyl) furfural

Tokitomo *et al.* (2005) ทำการศึกษาสารให้กลิ่นในเนื้อสับประรดสดพันธุ์ปัตตาเวียโดยวิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) พิจารณาร่วมกับค่า odor activity values (OAVs) พบว่าสารให้กลิ่นสำคัญ คือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ให้กลิ่นหวาน กลิ่นสับประรด และกลิ่นคาราเมล สารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์ ได้แก่ ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate ให้กลิ่นผลไม้ และ 1-(E,Z)-3,5-undecatriene ให้กลิ่นสดและกลิ่นสับประรด นอกจากนี้ พบว่าสารให้กลิ่นสำคัญที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะของกลิ่นสับประรดซึ่งขาดไม่ได้ คือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone หากขาดสารให้กลิ่นดังกล่าวนี้ไปจะไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสับประรด ซึ่งตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสารให้กลิ่นสำคัญเหล่านี้ แสดงในภาพที่ 1 และสารระเหยให้กลิ่นที่พบในเนื้อสับประรดสด แสดงไว้ในตารางที่ 3



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, ethyl 2-methylpropanoate, ethyl 2-methylbutanoate และ ethyl butanoate

### ตารางที่ 3 สารระเหยให้กลิ่นในเนื้อสัตว์ประรด

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	citrus, 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
$\beta$ -damascenone	fruity, sweet
$\gamma$ -octalactone	fruity, coconut-like
$\delta$ -octalactone	coconut-like
$\gamma$ -nonalactone	peach-like, fruity
4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	sweet, pineapple-like, caramel-like
$\gamma$ -decalactone	fruity, sweet, peach-like
$\delta$ -decalactone	sweet, coconut-like
3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone	seasoning-like
$\gamma$ -dodecalactone	fruity, sweet
phenylacetic acid	honey-like
vanillin	vanilla-like

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

### การเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ

การควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นวิธีการหนึ่งในการเก็บรักษาผักและผลไม้ในสภาพของบรรยากาศที่แตกต่างไปจากสภาพบรรยากาศปกติในแง่ของสัดส่วนของแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (Ryall and Lipton, 1974; Colgan *et al.*, 1999) โดยจะควบคุมความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนให้ต่ำกว่าร้อยละ 21 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าร้อยละ 0.03 และควบคุมความเข้มข้นของก๊าซในระดับที่ต้องการตลอดอายุการเก็บรักษา การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศสามารถใช้เสริมหรือใช้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับรักษาคุณภาพผลิตผลชนิดนั้นๆ รวมทั้งสามารถลดการสูญเสียของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ทั้งในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาในสภาพดังกล่าวสามารถลดอัตราการหายใจของผลิตผลและขบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งมีผลต่อการชราภาพและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายใน เช่น การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (Larrigaudiere *et al.*, 2001; Gorny *et al.*, 2002; Prange *et al.*, 2002) การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การเกิดสีน้ำตาล (Volz *et al.*, 1998; Beaudry, 1999) การเกิดกลิ่นรส นอกจากนี้ยังสามารถลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางอย่างได้ (Mattheis *et al.*, 1997; Lavilla *et al.*, 1999)

Beaudry (1999) รายงานว่าการตอบสนองของพืชต่อสภาพควบคุมบรรยากาศนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ขึ้นส่วนของพืช ระยะของการพัฒนา ซึ่งการเก็บรักษาในสภาพดังกล่าวนี้สามารถยืดอายุ และลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น มะม่วง (Pesis *et al.*, 2000) แอปเปิ้ล (Whitaker *et al.*, 1998; Drake and Eisele, 1999; Lavilla *et al.*, 1999) ราสเบอร์รี่ (Haffner *et al.*, 2002) ลำไย (Tian *et al.*, 2002) อะโวคาโด (El-Mir *et al.*, 2001) กัญชง (Madrid and Lopez-Lee, 1998) และสับประรด (You-Lin *et al.*, 1997)

จากการศึกษาของ Wijeratnam *et al.* (1997) พบว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ สามารถลดความรุนแรงและการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับประรดพันธุ์ Mauritius เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยเฉพาะผลที่ได้รับการเคลือบผิว เมื่อเก็บในสภาวะที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 6.5-7 และแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 จะเก็บได้นานถึง 28 วัน Kader (1993, 2003) เสนอว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาสับประรด คือ ในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2-5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-10 ที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส แต่เก็บรักษาผลสับประรดในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 2 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 10 จะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการใช้

แก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 เป็นเวลานาน 1 สัปดาห์ แล้วย้ายไปเก็บที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถช่วยลดอาการไอ้สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นกับสับปะรดได้ (Sealand, 1991)

Van Lelyveld *et al.* (1977) ทำการศึกษาเก็บรักษาผลสับปะรดในกลุ่มควินเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน แล้วจึงนำมาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 4 วัน พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 8-12 องศาเซลเซียส ทำให้ผลสับปะรดมีคุณภาพดีที่สุดใน ซึ่งจากการศึกษาของสมโภชน์ (2538) พบว่าเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส สามารถชะลออัตราการหายใจ ชะลอการสูญเสียน้ำและกรดแอสคอร์บิกได้ และยังพบอีกว่าการใช้แก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถคงคุณภาพและลักษณะปรากฏภายนอกได้ดีกว่าการใช้แก๊สชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียว ในงานวิจัยของต้องรัก (2545) ซึ่งได้ทำการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผลสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 และร้อยละ 5 ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 เปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วัน พบว่า การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศจะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา และการเก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นร้อยละ 3 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด และจากการศึกษาของจริงแท้ (2541) โดยการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในสภาพควบคุมบรรยากาศและสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน แล้วย้ายมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดที่ผ่านการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศเกิดอาการไอ้สีน้ำตาลต่ำกว่าสับปะรดที่ผ่านการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศปกติและสับปะรดที่มีความบริบูรณ์มากจะเกิดอาการไอ้สีน้ำตาลน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาในสภาพเช่นเดียวกันนี้ในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอาการไอ้สีน้ำตาลจะพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว (อ้อมอรุณ, 2543) การศึกษาการใช้สภาพควบคุมบรรยากาศกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น มะม่วงพันธุ์ Alphonso พบว่า ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ช่วยคงประสิทธิภาพความสามารถในการต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ไว้ได้ดีกว่าสภาพบรรยากาศปกติ (Niranjana *et al.*, 2009) และจากการศึกษาผลของการเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 ร่วมกับความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์

สามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงและช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี oxygen radical absorbance capacity (ORAC) ได้ดีกว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาพบรรยากาศปกติตลอดอายุการเก็บรักษา (Kim *et al.*, 2007)

### วิตามินซี

วิตามินซี หรือ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) มีสูตรเคมี  $C_6H_8O_6$  ที่พบในธรรมชาติ คือ L-ascorbic acid หรือในรูปรีดิวซ์ (reduced form) และออกซิไดส์เป็น dehydroascorbic acid ทั้งสองรูปแบบมีในอาหารธรรมชาติและร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ วิตามินซีเป็นวิตามินที่สลายหรือถูกทำลายได้ง่ายกว่าวิตามินตัวอื่นไม่เสถียรเมื่อได้รับความร้อน แสงสว่าง สภาพที่เป็นเบส และถูกออกซิไดส์ด้วยเอนไซม์ วิตามินซีเป็นสารรีดิวซ์อย่างแรงจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่ายในอากาศ (จินตนา, 2543) โลหะบางชนิดที่ช่วยเร่งให้วิตามินซีถูกทำลายได้คือเหล็ก ทองแดง และเหล็ก

วิตามินซีเป็นสารอาหารที่สำคัญและพบเป็นปริมาณมากในน้ำสับปะรด วิตามินซีเป็นสารอาหารที่สลายตัวได้ง่าย ซึ่งการสลายตัวจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร และสภาวะของกระบวนการผลิต วิตามินซีมีคุณสมบัติไม่ทนต่อความร้อน ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน โดยขั้นตอนการฆ่าเชื้อโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีประมาณร้อยละ 25 และการฆ่าเชื้อโดยวิธีสเตอริไรซ์ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีประมาณร้อยละ 60 (Ottaway, 1993) เนื่องจากเป็นวิตามินที่สามารถละลายได้ในน้ำ จึงอาจมีการสูญเสียไปกับน้ำ นอกจากนี้วิตามินซีเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate oxidase และ Ascorbate peroxidase ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมกระบวนการผลิตให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอากาศ ความร้อน และแสงแดดให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียวิตามินซี (จีสุดา และนงนุช, 2542)

จากข้อมูลของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (2536) พบว่า น้ำผลไม้เป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซี น้ำผลไม้คั้นสดมีวิตามินซีตั้งแต่ 1 ถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิตร ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผลไม้ สำหรับปริมาณวิตามินซีในน้ำผลไม้ยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตด้วย ซึ่งวิตามินซีในน้ำผลไม้ เป็นตัวทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์คงสภาพอยู่ได้นาน การสูญเสียวิตามินซีจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ โดยออกซิเจน 1 มิลลิตร ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ สามารถออกซิไดส์กรดแอสคอร์บิกได้ 15.7 มิลลิกรัม ดังนั้น กรดแอสคอร์บิกจะคงตัวที่สุดหากไล่อากาศออกให้หมด และควรมีระดับของ

เหล็กและทองแดงอยู่น้อยที่สุด ฝ่ายวิเคราะห์วัตถุมีพิษและสารปริมาณน้อยของกรมวิทยาศาสตร์บริการได้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในผลไม้สด ดังแสดงในตารางที่ 4 เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคทราบถึงคุณค่าของปริมาณวิตามินซีในผลไม้และผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการบริโภคผลิตภัณฑ์ผลไม้ ผลไม้ที่อุดมด้วยวิตามินซี ได้แก่ สับปะรด มะละกอ ซึ่งราคาไม่แพง และมีให้รับประทานได้ตลอดทั้งปี แต่เมื่อนำไปแปรรูปบรรจุกระป๋องหรือน้ำผลไม้ วิตามินซีจะลดลงมาก ปัจจุบันมักมีการเติมกรดแอสคอร์บิกลงในน้ำผลไม้ ทำให้ปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ปริมาณวิตามินซีในผลไม้สด

ชนิดของผลไม้	วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)
แอปเปิล	2.0
กล้วยหอม	6.7
องุ่นแดง	16.8
สับปะรด	23.6
มะละกอสุก	58.0

ที่มา: คัดแปลงจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ (2536)

#### ความสามารถต้านออกซิเดชันของสารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หมายถึงสารที่ไปทำหน้าที่ลด หรือยับยั้งปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดออกซิเจนหรือสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) หรืออีกความหมายหนึ่ง คือ สารในอาหารที่มีผลในการลด reactive oxygen species (ROS) หรือ reactive nitrogen species (RNS) ในร่างกาย (Huang *et al.*, 2005) โดยอนุมูลอิสระมีหลายประเภท ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical,  $O_2^{\cdot-}$ ), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide,  $H_2O_2$ ), อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical,  $HO^{\cdot}$ ), กรดไฮโปคลอรัส (hypochlorous acid,  $HOCl$ ), อนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical,  $ROO^{\cdot}$ ), ซิงเกิลออกซิเจน (singlet oxygen,  $^1O_2$ ) และเพอร์ออกซิลไนไตรต์ (peroxyl nitrite,  $ONOO^{\cdot}$ ) (Sánchez-Moreno, 2002)

เมื่อพิจารณาจากปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง การวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ดังนี้

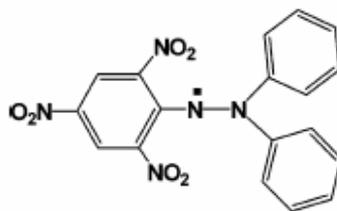
### 1. วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (single electron transfer (SET) reaction)

วิธีการนี้จะวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในปฏิกิริยาการรับของตัวรับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยานี้จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน โดยการเปลี่ยนสีจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชัน คือถ้าสารต้านออกซิเดชันมีความเข้มข้นมากสีของสารละลายก็จะลดลงเร็วขึ้น วิธีการในกลุ่มนี้ ได้แก่ total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent (FCR), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity (DPPH) assay, trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay หรือ ABTS และ ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay มีกลไกดังแสดงในสมการที่ 1 (Prior *et al.*, 2005)



#### 1.1 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay

วิธีนี้จะวัดความสามารถในการยับยั้ง 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ดังภาพที่ 2 โดย DPPH เป็นสารอนุมูลในโตรเจนที่ค่อนข้างคงตัว โดยขณะเริ่มต้นการทดลองจะให้สารสีเข้ม เมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้นสารจะมีสีซีดจางลง ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ตามระยะเวลาที่กำหนด หากในระบบมีปริมาณสารต้านออกซิเดชันมาก สีของสารละลายก็จะลดลงเร็ว กลไกของการเกิดปฏิกิริยาแสดงในสมการที่ 2 ค่าที่ได้สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แสดงเป็นร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity), ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 จากปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้น (IC<sub>50</sub>) หรือค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antiradical efficiency, AE) (Prior *et al.*, 2005)



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ DPPH

ที่มา: Prior *et al.* (2005)



วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีความแม่นยำ ใช้เวลาน้อย และใช้เครื่องมือแค่เครื่องวัดการดูดกลืนแสงเท่านั้น เหมาะสำหรับวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในน้ำผักและน้ำผลไม้ หรือในสารสกัดผักและผลไม้ แต่ไม่เหมาะสำหรับการวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในพลาสมา เนื่องจากสาร DPPH ต้องละลายในเมทานอล จึงส่งผลให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (Magalhaes *et al.*, 2008) และอนุมูลอิสระ DPPH มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะ หรือจัดอันดับอนุมูลอิสระที่มีความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของอนุมูลอิสระ DPPH ที่แสดงในภาพที่ 2 จะเห็นว่าโครงสร้างของ DPPH มีความเกะกะ (steric) จึงส่งผลต่อการวัด โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่มีขนาดเล็กจะเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าซึ่งก็ส่งผลให้วิเคราะห์ค่าออกมาได้สูง ในขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระที่มีขนาดใหญ่ซึ่งทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระพวกเพอร์ออกซิลได้ดี อาจทำปฏิกิริยาได้ช้ามากเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ (โอภา และคณะ, 2549)

## 2. วิธีการวัดการแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer (HAT) reaction)

Huang *et al.* (2005) รายงานว่า วิธีการนี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดการแข่งขันระหว่างสารต้านออกซิเดชัน กับสารตั้งต้นของปฏิกิริยา โดยจะมีการกระตุ้นสารประกอบอะโซ (azo compounds) ด้วยความร้อนเพื่อให้เกิดการสลายตัวกลายเป็นอนุมูลเพอร์ออกซิลเพื่อเป็นตัวแทนอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ วิธีการในกลุ่มนี้ได้แก่ oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay และ total radical trapping antioxidant parameter (TRAP) assay มีกลไกดังแสดงในสมการที่ 3 ซึ่งวิธีการกลุ่มนี้จะวัดปริมาณอะตอมไฮโดรเจนที่มีการแลกเปลี่ยน โดยจะวัดการเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนต์

ที่ลดลงเมื่อเกิดการออกซิเดชัน เมื่อระบบมีสารต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันจะไปแย่งจับสารเรืองแสง ส่งผลให้ความเข้มสารฟลูออเรสเซนซ์ลดลงด้วยความเร็วที่ช้าลง



เมื่อ  $X^\bullet$  = สารประกอบต่างๆ  
 $AH$  = สารต้านออกซิเดชัน

วิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มนี้จำเป็นต้องใช้สารตัวแทนเพื่อเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา (probes or substrates) โดยสารต้านออกซิเดชันแย่งกันทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น ทั้งนี้ในระบบการทดลองประกอบด้วย สารกลุ่มอะโซเพื่อผลิตอนุมูลอิสระ (AAPH probes) สารเพื่อติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (สารฟลูออเรสซิน) และสารต้านออกซิเดชัน โดย AAPH ถูกให้ความร้อนเพื่อสร้างอนุมูลเพอร์ออกซิล เมื่อใส่ฟลูออเรสซิน และสารต้านออกซิเดชันแล้ว จะเกิดการแย่งกันทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกซิล โดยสารต้านออกซิเดชันจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว เมื่อสารต้านออกซิเดชันทำปฏิกิริยาจนหมดแล้วสารฟลูออเรสซินจึงเข้าทำปฏิกิริยาต่อ การเรืองแสงของสารฟลูออเรสเซนซ์จึงค่อยๆ ลดลง

กลไกการแย่งทำปฏิกิริยาของสารต้านออกซิเดชันและฟลูออเรสซินแสดงในสมการที่ 4-7



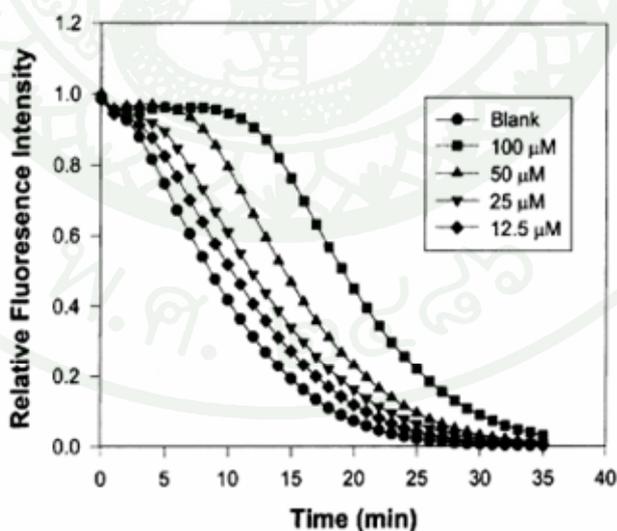
เมื่อ  $PH$  = สารตัวแทนสารตั้งต้น (oxidized probes)

## 2.1 Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay

วิธีนี้เป็นวิธีการวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยหลักการลดลงของแสงฟลูออเรสเซนซ์เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงฟลูออเรสเซนซ์ โดยเมื่อฟลูออเรสซินทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกซิลแล้วความเข้มของแสงจะลดลง หากในระบบมีปริมาณสารต้าน

ออกซิเดชันน้อยจะทำให้ความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณสารต้านออกซิเดชันมากความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์จะลดลงช้า เนื่องจากอนุมูลอิสระต้องทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันจนหมดก่อนแล้วจึงทำปฏิกิริยากับฟลูออเรสซิน วิธีนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง และสามารถใช้ได้ทั้งการวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในพืชและระบบร่างกาย (Prior *et al.*, 2005)

วิธี ORAC นี้เป็นการรวมกันระหว่างการหาค่าเวลาในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (inhibition time) และปริมาณการยับยั้งอนุมูลอิสระ ในขณะที่วิธีการอื่นมักหาค่าเวลาในการยับยั้งเมื่อกำหนดปริมาณการยับยั้งอนุมูลอิสระ หรือหาปริมาณในการยับยั้งอนุมูลอิสระเมื่อกำหนดระยะเวลา หลักการคร่าวๆ ของวิธี ORAC คือ นำตัวอย่างหรือตัวแทนควบคุม หรือสารมาตรฐานผสมกับสารฟลูออเรสซิน แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วเติม AAPH เพื่อเริ่มปฏิกิริยา วัดความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความยาวคลื่น 485 nm excitation/525 nm emission เป็นเวลา 35 นาทีโดยประมาณ และตั้งอุณหภูมิภายในเครื่องที่ 37 องศาเซลเซียส โดยในการทดลองใช้สาร Trolox ความเข้มข้น 4-5 ระดับ เป็นสารมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 3 นำผลที่ได้คำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve, AUC) แล้วคำนวณเป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟสุทธิ (net AUC) นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Trolox (Y) ( $\mu\text{M}$ ) กับพื้นที่ใต้กราฟ (X) ค่าที่ได้แสดงเป็นไมโครโมลของ Trolox ต่อตัวอย่างสด 100 กรัม (Prior *et al.*, 2005)



ภาพที่ 3 กราฟการลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์สัมพันธ์ของตัวอย่างและสารมาตรฐาน

ที่มา: Huang *et al.* (2005)

ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของวิตามินซีและความสามารถด้านออกซิเดชันของสับปะรด โดย Gardner *et al.* (2000) รายงานว่า กรดแอสคอร์บิกในน้ำสับปะรด มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิกในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำผัก เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับความสามารถด้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี FRAP ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.90 สำหรับกรดแอสคอร์บิกในส่วนของเนื้อสับปะรดมีรายงานว่า มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีเช่นกัน โดยมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างกรดแอสคอร์บิกและความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH เท่ากับ 0.9045 (Leong and Shui, 2002; Sun *et al.*, 2002; Szeto *et al.*, 2002) นอกจากกรดแอสคอร์บิกแล้ว สารประกอบฟีนอลิกในเนื้อสับปะรดก็มีสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน จากการศึกษาของ Sun *et al.* (2002) พบว่า สารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับความสามารถด้านออกซิเดชัน โดยมีค่าสหสัมพันธ์สูงเท่ากับ 0.9788

### กระบวนการผลิตน้ำสับปะรดระดับอุตสาหกรรม

ในกระบวนการผลิตน้ำสับปะรดระดับอุตสาหกรรม โดยทั่วไปจะใช้ส่วนต่างๆ ที่ได้มาจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋อง ได้แก่ แกนสับปะรด (Cores) น้ำสับปะรดซึ่งได้จากการตัดแต่งเนื้อสับปะรด เศษของเนื้อสับปะรดที่ได้จากการตัดแต่ง เนื้อสับปะรดที่ผ่านจากเครื่องเจาะแกนสับปะรด ชิ้นเนื้อสับปะรดที่มีขนาดเล็กซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นสับปะรดบรรจุกระป๋อง น้ำสับปะรดที่ได้จากขั้นตอนการตัดหรือหั่นเนื้อสับปะรดเป็นรูปลูกเต๋า และน้ำสับปะรดที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการแยกเนื้อสับปะรดที่ติดเปลือก (Rutledge, 2001)

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำสับปะรดระดับอุตสาหกรรม สามารถกล่าวโดยสรุปคือ ตรวจสอบคุณภาพส่วนประกอบของน้ำสับปะรดที่ได้จากการนำน้ำสับปะรดจากแหล่งต่างๆ มาผสมรวมกัน หลังจากนั้นน้ำสับปะรดจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องแยกเหวียงเพื่อแยกเอากากและสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไป เพื่อควบคุมปริมาณและลักษณะของแข็งแขวนลอย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำสับปะรด ในขั้นตอนต่อมา น้ำสับปะรดจะถูกส่งไปยังถังผสม (Blending tank) จากนั้นน้ำสับปะรดในถังผสมจะถูกนำไปผ่านเครื่อง Flash pasteurizer ซึ่งใช้ความร้อนในการบรรจุน้ำสับปะรดกระป๋องที่อุณหภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียส นาน 1-3 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว (Mehrlich และ Felton, 1980)

คุณภาพของน้ำสับปะรดที่ดี คือ น้ำสับปะรดนั้นยังคงรักษากลิ่นและรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะวิตามินซี ให้ใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุดหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา แต่พบว่าน้ำสับปะรดมักเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือสูญเสียคุณลักษณะต่างๆ เหล่านี้ได้ จากสถานะของกระบวนการผลิต เช่น ความร้อนที่สูงเกินไปทำให้เกิดการสลายตัวของกลีโนสและวิตามินซีของน้ำสับปะรด เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือกระบวนการทางชีวเคมีอื่นๆ โดยการสูญเสียคุณค่าและคุณภาพของน้ำสับปะรด เช่น การสูญเสียปริมาณวิตามินซี เป็นต้น

จากการศึกษาของ Akinyele *et al.* (1990) รายงานว่า กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 99 องศาเซลเซียส เวลา 17 นาที มีผลทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำและเนื้อสับปะรดสดซึ่งมีค่า 16.9 และ 14.5 มิลลิกรัมต่อน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลดลงลดลงเหลือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร และจะลดลงในระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Uckiah *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ในการผลิตน้ำสับปะรดพันธุ์ Queen Victoria พบว่าการใช้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือร้อยละ 9.5 และจากการศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกและเบทา-แคโรทีนในน้ำผลไม้ โดย Gardner *et al.* (2000) พบว่า กรดแอสคอร์บิกในน้ำผลไม้ตระกูลส้มมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันร้อยละ 65 ถึง 100 ขณะที่กรดแอสคอร์บิกในน้ำสับปะรด น้ำแอปเปิลและน้ำผักมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น

#### กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) เป็นกระบวนการแยกสารโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ ระหว่าง 500 ถึง 300,000 ออกจากน้ำและสารโมเลกุลขนาดเล็กอื่นๆ แรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการแยก คือ ความดัน ซึ่งใช้ความดันในการป้อนสารละลายผ่านเมมเบรนในช่วง 2-10 บาร์ เมมเบรนที่ใช้เป็นเมมเบรนแบบไม่สมมาตร มีชั้นผิวหนา 0.1-2 ไมโครเมตร ขนาดรูพรุน 10-500 อังสตรอม

เมื่อป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบภายใต้ความดันที่ใช้ คุณสมบัติของเมมเบรนซึ่งมีความสามารถในการเลือกผ่านสารจะทำให้เกิดการแยกขององค์ประกอบในสารละลายขึ้น ตัวทำละลายและสาร โมเลกุลเล็กหรือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถผ่านรูพรุนของเมมเบรนไปได้

ส่วนที่ผ่านเมมเบรนไปได้นี้เรียกว่า เพอมิเอท (permeate) ส่วนตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุน หรือมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าค่า Molecular Weight Cut-Off (MWCO) ของเมมเบรน จะไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ ส่วนที่ถูกกักไว้ดังกล่าวนี้เรียกว่า รีเทนเทท (retentate) ค่า MWCO ข้างต้นเป็นค่าที่นิยมใช้ในการบอกคุณลักษณะของเมมเบรนในแง่ของความสามารถในการกักกันตัวถูกละลายของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน แทนการบอกเป็นขนาดของรูพรุน ตัวอย่างเช่น เมมเบรนที่มี MWCO 40,000 หมายความว่า ตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 40,000 จะถูกกักกันไว้ร้อยละ 90 ขึ้นไป ตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่านี้จะผ่านเมมเบรนไปได้บ้าง หรือมีค่ากักกันต่ำกว่า ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน อาจเป็นส่วนเพอมิเอท หรือรีเทนเททหรือทั้งสองส่วน อย่างไรก็ตามความสามารถในการกักกันสารของอัลตราฟิลเตรชันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ชนิดและรูปร่างของโมเลกุลที่ต้องการแยก ปฏิกริยาระหว่างโมเลกุล ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย และปฏิกริยาระหว่างโมเลกุลกับอัลตราฟิลเตรชัน ตลอดจนสภาพการใช้งานของอัลตราฟิลเตรชันสังเคราะห์ (Zeman and Zydney, 1996)

สำหรับในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมาประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ เช่น อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ อุตสาหกรรมนม น้ำดื่ม เบียร์และไวน์ อาหารทะเล เป็นต้น ในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ มีการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันสำหรับทำน้ำผลไม้ให้ใส (clarification) แยกจุลินทรีย์ให้ส่วนของเพอมิเอทปลอดเชื้อ (cold sterilization) การทำให้น้ำผลไม้เข้มข้น (Baker, 2004) de Carvalho *et al.* (1998) ได้ศึกษาการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ในการทำให้น้ำสับปะรดให้ใส โดยใช้เมมเบรนเซรามิกแบบท่อสังเคราะห์ โพลีซัลโฟน แบบเพลทและเฟรมขนาด MWCO 50,000 ดาลตัน จากนั้นวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสในเครื่องดื่มที่มีน้ำสับปะรดจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเป็นส่วนผสม พบว่าการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ทำให้น้ำสับปะรดใส การใช้เมมเบรนเซรามิกขนาด MWCO 0.22 ไมโครเมตร ในการกรองให้ค่าของแข็งที่ละลายได้ น้ำตาล และความเป็นกรดดีที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำสับปะรดที่เป็นชุดควบคุม (น้ำสับปะรดที่เจือจางจากน้ำสับปะรดเข้มข้น มีค่าของแข็งที่ละลายได้ 12 องศาบริกซ์) มากที่สุด ส่วนสีและความใสมีค่าใกล้เคียงกับการใช้เยื่อแผ่นเซรามิกและโพลีซัลโฟนขนาด MWCO 50,000 ดาลตัน ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มที่มีน้ำสับปะรดจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ในแต่ละสูตรให้ผลไม่แตกต่างกัน ไม่เกิดการตกตะกอนและไม่ขุ่น เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 และ 90 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

Hernandez *et al.* (1992) ศึกษาผลของการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ต่อของแข็งที่แขวนลอยในเพอมิเอทและรีเทนเททของน้ำส้ม ได้แก่ ปริมาณเพคติน ของแข็งที่ละลายได้ (soluble

solids) และความหนืด ทำการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ pectin methylesterase เนื่องจากเอนไซม์นี้มีผลต่อความคงตัวของสารแขวนลอยในน้ำส้ม และวิเคราะห์สารให้กลิ่นโดยวิธี head space ด้วยเครื่อง gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID) พบว่า การใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ในการกรองน้ำส้มสามารถกำจัดของแข็งที่แขวนลอยได้ทั้งหมด และไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ pectin methylesterase ในเพอมีเอท ความหนืดของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน มีค่าต่ำกว่าน้ำส้มสด ซึ่งความหนืดและความเข้มข้นของน้ำส้มจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน มีแนวโน้มใกล้เคียงกับสารละลายน้ำตาล สารให้กลิ่นที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้จะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้ ดังนั้นจึงพบในส่วนของเพอมีเอท สารให้กลิ่นดังกล่าว ได้แก่ aldehyde ester และ alcohol ส่วนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารที่มีขั้วต่ำกว่าพบในส่วนของรีเทนเทท สารเหล่านี้ ได้แก่ limonene, valencene และ  $\alpha$ -pinene

Yu and Chiang (1986) ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสาวรสโดยใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ร่วมกับการให้ความร้อน ในขั้นแรกเป็นการเตรียมน้ำเสาวรส โดยเติมเอนไซม์เพคตินเนสเพื่อกำจัดเพคติน นำไปแยกสตาร์ชออกโดยการแยกเหวี่ยง (centrifuge) จากนั้นผ่านกระบวนการพลาสติก เจลไรส์ ขั้นที่สองได้นำน้ำเสาวรสที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมแล้วมาเพิ่มความเข้มข้นโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ใช้เมมเบรนสังเคราะห์แบบท่อที่มี MWCO 25,000 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ขั้นสุดท้ายเป็นการนำเพอมีเอทของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสาวรส โดยเฉพาะการพลาสติก เจลไรส์ ทำให้สูญเสียสารระเหยที่มีจุดเดือดต่ำไปประมาณร้อยละ 20 แต่การเติมเอนไซม์และการแยกเหวี่ยงทำให้เพอมีเอทพลาซในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน สามารถกักสารประกอบกลิ่นเฉพาะตัวและสีของน้ำเสาวรสได้สูง และสามารถเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสาวรส จาก 15 เป็น 20 องศาบริกซ์ ในขั้นตอนการให้ความร้อน แม้ว่าจะสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้ถึง 70 องศาบริกซ์ แต่ก็ทำให้สูญเสียสารระเหยที่มีจุดเดือดต่ำในเพอมีเอทจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันไปถึงร้อยละ 90 เมื่อนำรีเทนเททจากอัลตราฟิลเตรชัน (ประมาณ 20 องศาบริกซ์) รวมกับเพอมีเอทจากอัลตราฟิลเตรชันที่ให้ความร้อน (70 องศาบริกซ์) จะได้น้ำเสาวรสเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ และเมื่อทดลองเจือจางน้ำเสาวรสเข้มข้นที่ได้ด้วยน้ำกลั่น พบว่า จะมีปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ และคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำเสาวรสด ผู้วิจัยสรุปว่า สามารถที่จะใช้อัลตราฟิลเตรชันช่วยในการเพิ่มความเข้มข้นร่วมกับให้ความร้อนน้ำเสาวรส โดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันจะช่วยแยกสารโมเลกุลใหญ่ออกจากน้ำเสาวรส ซึ่งทำให้อัตราเร็วของการระเหยสูงขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนสูง อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสของน้ำเสาวรสได้

Yu *et al.* (1986) ได้ศึกษาถึงความสามารถในการกักสารประกอบในน้ำเสาวรสโดยใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งใช้เมมเบรนชนิดที่มี MWCO 25,000 พบว่าเมมเบรนชนิดนี้สามารถกักสารประกอบสำคัญของกลิ่นหอมเฉพาะตัวในน้ำเสาวรสได้ถึงร้อยละ 80 ซึ่งเมื่อพิจารณาขนาดโมเลกุลของสารระเหยในน้ำเสาวรสดังกล่าวนั้นสามารถผ่านเมมเบรนได้ แต่ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นโมเลกุลของสารซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำเสาวรสจะก่อให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าเมมเบรน ทำให้เยื่อแผ่นสามารถกักโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ไว้ได้ สารประกอบของกลิ่นหอมระเหยที่เมมเบรนชนิดดังกล่าวสามารถกักไว้ได้ เช่น  $\beta$ -ionone, ethyl hexanoate, hexyl butyrate และ hexyl hexanoate แต่เมมเบรนชนิดนี้มีความสามารถในการกักน้ำตาล (เช่น ฟรุกโตส กลูโคส และซูโครส) และกรดอินทรีย์ (เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแลคติก) ไว้ได้ร้อยละ 10-40 เท่านั้น

Thomas *et al.* (1986) ศึกษาการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในการกรองน้ำแอปเปิ้ลให้ใสด้วย ZOSS metallic membrane พบว่าน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการกรองมีค่าใกล้เคียงกับน้ำแอปเปิ้ลสดโดยมีกลิ่นรสน้อยกว่าเพียงร้อยละ 14 เท่านั้น

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัตถุดิบ

คัดเลือกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากตลาดสี่มุมเมือง ซึ่งมีพื้นที่สีเหลืองของเปลือกประมาณร้อยละ 10-35 ของผล (Bartholomew *et al.*, 2003) และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วง 12-13 องศาบริกซ์ โดยหลังจากการคัดเลือกนำผลสับปะรดมาตัดใบทิ้ง แล้วล้างด้วยน้ำประปา ชับน้ำ และผึ่งให้แห้ง

#### 2. สารเคมี

- 2.1 ไดคლოโรมีเทน, HPLC grade (Lab-Scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- 2.2 เพนเทน, HPLC grade (Lab-Scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- 2.3 เมทานอล, HPLC grade (Lab-Scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- 2.4 โซเดียมคลอไรด์ (Merck, ประเทศเยอรมันนี)
- 2.5 โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 2.6 โปแทสเซียม ได-ไฮโดรเจน ฟอสเฟต, Analytical grade (Ajax Finechem, ประเทศนิวซีแลนด์)
- 2.7 ไค-โปแทสเซียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต, Analytical grade (Ajax Finechem, ประเทศนิวซีแลนด์)
- 2.8 กรดแอสคอร์บิก, HPLC grade (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.9 กรดไอโซแอสคอร์บิก, HPLC grade (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.10 กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก, HPLC grade (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.11 2,2'-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮดรากลิก: DPPH (Aldrich, ประเทศเยอรมันนี)
- 2.12 2,2'-อะโซบิส (2-เมทิลโพรพิโอนามิดีน) ไดไฮโดรคลอไรด์: AAPH (Aldrich, ประเทศเยอรมันนี)
- 2.13 6-ไฮดรอกซี-2,5,7,8-เตตระเมทิลโครแมน-2-คาร์บอกซิลิก แอซิด: Trolox (Aldrich, ประเทศเยอรมันนี)

- 2.14 ฟลูออเรสซิน, Analytical grade (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.15 สารมาตรฐาน (internal standard)
- 2-methyl-3-heptanone (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.16 สารมาตรฐาน *n*-alkane (hydrocarbons, C<sub>5</sub>-C<sub>30</sub>) (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.17 สารมาตรฐานของสารระเหยที่ให้กลิ่นสำคัญ
- ethyl 2-methylpropanoate (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
  - methyl 2-methylbutanoate (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
  - ethyl 2-methylbutanoate (Aldrich, ประเทศเยอรมันนี)
  - 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.18 ก๊าซฮีเลียม ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 (Thai Industrial Gases Public Company Limited, ประเทศไทย)
- 2.19 ก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 (Thai Industrial Gases Public Company Limited, ประเทศไทย)

### 3. เครื่องมือ

- 3.1 ชุดทดลองระบบอัลตราฟิลเตรชัน รุ่น QuixStand (GE healthcare, สหรัฐอเมริกา) พร้อมกับ peristaltic pump รุ่น 77200-62 (Masterflex, สหรัฐอเมริกา) ต่อกับเมมเบรนสังเคราะห์ โพลีซัลโฟนแบบเส้นใยกลวง (hollow fiber) รุ่น UF-100-E-4MA (GE healthcare, สหรัฐอเมริกา)
- 3.2 ชุดเครื่องแก้ว
- 3.3 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (balance 2 decimal) รุ่น TP2KS (Ohaus, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.4 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (balance 4 decimal) รุ่น ED2248 (Satorius, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.5 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) รุ่น RCT Basic (Ika Werke, ประเทศมาเลเซีย)
- 3.6 เครื่องเหวี่ยงแยกแบบอุณหภูมิต่ำ (refrigerator centrifuge) รุ่น RC-5C Plus (Sorvall, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.7 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) พร้อมหัวปั่นขนาดเล็ก รุ่น T10 basic (Ika, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.8 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น 2-Star Benchtop (Thermo Orion, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

- 3.9 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer) รุ่น ATAGO N-10 (0-32 %Brix) (Atago, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.10 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) รุ่น WB 7/14/22/29/45 (Mettler, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.11 ตู้แช่แข็ง (freezer  $-40^{\circ}\text{C}$ ) รุ่น MDF-435 (Sanyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.12 เครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก (Sakaya, ประเทศไทย)
- 3.13 เครื่องผลิตอาหารเหลวพร้อมคัมระบบพาสเจอร์ไรส์และยูเอชที รุ่น Electric Development (MicroThermics, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.14 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Spectronic Genesys 10 UV Scanning (Thermo Electron Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.15 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงฟลูออเรสเซนซ์ (FLUOstar OPTIMA, ประเทศสหรัฐอเมริกา) พร้อม well plate สีดำ
- 3.16 เครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (Waters, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.17 เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (HP Model 6890, Mass Selective Detector, MSD, HP 5973) (Agilent Technology, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.18 เครื่อง Gas chromatography (GC) รุ่น 6890N (Agilent technology, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ต่อกับ flame ionization detector รุ่น G 1530N (Agilent Technology, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.19 เครื่องหล่อเย็น (Model CoolAce Ca-1100) (Dynamics Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.20 เครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ (high vacuum distillation) รุ่น B62426952 (Edwards, ประเทศอังกฤษ)
- 3.21 แผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (flow board)
- 3.22 ระบบควบคุมสภาพบรรยากาศ (controlled atmosphere system) รุ่น MI4-110-KG1 (Moeller International Controlled Atmosphere, ประเทศฝรั่งเศส)

## วิธีการ

### 1. การวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดสด

#### 1.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำสับประรดสด

นำสับประรดมาปอกเปลือก บั่นเนื้อให้ละเอียด แล้วทำการคั้นน้ำโดยใช้เครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก จะได้น้ำสับประรดสดสำหรับนำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่อไป

#### 1.2 การวิเคราะห์สารระเหยด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

##### 1.2.1 การสกัดสารระเหย

นำตัวอย่างน้ำสับประรดสด 200 มิลลิลิตร ผสมกับ internal standard (2-methyl-3-heptanone) ความเข้มข้น 12.37 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร เดิมตัวทำละลายผสมของเพนเทนและไดคลอโรมีเทน (2:1) 300 มิลลิลิตร ทำการสกัด 30 นาที ด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กที่ความเร็ว 630 รอบต่อนาที โดยทำการสกัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง นำส่วนที่สกัดด้วยตัวทำละลายมาใส่ฟลาสก์ นำสารระเหยที่สกัดได้มาระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้ vigreux column (30 cm x 1 cm i.d.) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำมาเข้มข้นด้วยการจุ่มลงในไนโตรเจนเหลว จากนั้นแยกสารระเหยโดยใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศ ที่ความดันสุญญากาศประมาณ  $10^{-5}$  ทอร์ร ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นหล่อน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ขวดกั้นกลมใส่ตัวอย่างเพื่อกลั่นต่ออีก 2 ชั่วโมง นำสารที่กลั่นได้ในขวดกักเก็บแรก (first trap) ไปทำให้เข้มข้น โดยเติมโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้างในตัวอย่าง และเป่าก๊าซไนโตรเจนเบาๆ จนตัวอย่างได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาผ่านใยแก้วและโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำอีกครั้ง เพื่อกำจัดน้ำที่หลงเหลืออยู่ นำสารระเหยมาเป่าก๊าซไนโตรเจนเบาๆ ให้ตัวอย่างเข้มข้นจนมีปริมาตร 1 มิลลิลิตร

### 1.2.2 การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารระเหย

วิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้จากการสกัดในข้อ 1.2.1 ด้วยเครื่อง GC (HP Model 6890, Agilent Technologies) ที่ต่อกับ mass selective detector (HP 5973, Agilent Technologies) คอลัมน์ที่ใช้ คือ HP-5 ขนาดยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร การฉีดตัวอย่างเป็นแบบ on column ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 เป็น carrier gas โดยมีอัตราการไหล 2.5 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 40 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 40 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 6 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และสุดท้ายเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที และคอลัมน์ FFAP ขนาดยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์ เป็น carrier gas โดยมีอัตราการไหล 2.5 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบเริ่มจาก 40 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 40 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 6 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และสุดท้ายเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที ระบุชนิดของสารด้วยเครื่อง MS ที่ใช้ แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็กตรอนอิมแพ็คท์ (Electron-Impact Ionization, EI) และมีค่าพลังงานไอออนในเซชัน 70 อิเล็กตรอน โวลต์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z ที่ความเร็ว 2.74 scan/วินาที

การระบุชนิดของสารระเหยใช้การเปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารระเหยแต่ละชนิด กับฐานข้อมูล Wiley 275 library ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิด กับค่าจากเอกสารอ้างอิงที่ใช้คอลัมน์ชนิดเดียวกัน ซึ่งค่า RI นี้คำนวณได้จาก retention time (RT) ของสารมาตรฐาน *n*-alkane (C<sub>5</sub>-C<sub>30</sub>) ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะของเครื่อง GC-MS เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง (Van den Dool and Kratz, 1963) ตามสมการข้อ 1 ในภาคผนวก ก เรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี และยืนยันชนิดสารด้วยสารมาตรฐาน

หาพื้นที่ใต้พีคของสารด้วย Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Agilent Technologies) แล้วคำนวณหาปริมาณสาร โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของ

สารแต่ละชนิดกับพื้นที่ใต้พีคของ internal standard (2-methyl-3-heptanone) ตามสมการข้อ 2 ในภาคผนวก ก เรื่องการวิเคราะห์ทางเคมี แล้วรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารชนิดนั้นๆ (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)

คำนวณ odor active value (OAV) ของสารระเหยที่ได้ OAV เป็นตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยในตัวอย่างกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารชนิดนั้นที่คนจะได้กลิ่น โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{OAV} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในตัวอย่าง}}{\text{threshold ของสารให้กลิ่น}}$$

2. การศึกษาผลของสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี และความสามารถด้านออกซิเดชันของน้ำส้มประรด

นำผลส้มประรดที่คัดเลือกและทำความสะอาดแล้วมาบรรจุใน โพลีพลาสติก ปิดผนึกฝาแล้วนำไปต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ (ภาพผนวกที่ ก9) ซึ่งได้ปรับระดับความแรงของปั๊มลมร่วมกับระดับน้ำในหลอด barostate ให้มีอัตราการไหลของอากาศผ่านขวดพลาสติกบรรจุผลไม้ ในช่วง 130-150 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นนำแผงควบคุมการไหลของอากาศและขวดบรรจุผลส้มประรดต่อเข้ากับระบบควบคุมสภาพบรรยากาศ รุ่น MI4-110-KG1 ที่สภาวะทั้งหมด 5 กลุ่ม ดังนี้

- 1) แก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5
- 2) แก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10
- 3) แก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5
- 4) แก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10
- 5) สภาพบรรยากาศปกติ

ทุกสภาวะการทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และตรวจวัดคุณภาพของส้มประรดในด้านต่างๆ ในวันที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 ดังนี้

2.1 วิเคราะห์อัตราการหายใจ และวิเคราะห์แก๊สเอทิลีนของผลสับปะรด ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 3

2.2 ตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ และปริมาณเอทานอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (ดัดแปลงจากวิธีของ Larsen and Watkins, 1995) ในน้ำสับปะรดซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1 ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 5

2.3 วิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับปะรดในแต่ละสภาวะการเก็บรักษาซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1 และมีขั้นตอนในการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1.2

2.4 วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

#### 2.4.1 การสกัดกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก

การสกัดปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกและกรดแอสคอร์บิก ดัดแปลงจากวิธีของ Zapata and Dufour (1992) โดยนำตัวอย่างน้ำสับปะรดในแต่ละสภาวะการเก็บรักษาซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1 มาตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายเมทานอลร้อยละ 5 ที่มีส่วนผสมของ 0.1 โมลาร์ กรดซिटริก และ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ร้อยละ 0.05 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน นาน 2 นาที เติม กรดไอโซแอสคอร์บิก (internal standard) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 10,000 xg ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แยกส่วนใสออกมาแล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสเป็น 2.20-2.45 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก นำส่วนใสมาผ่าน VertiPak C<sub>18</sub> Tubes โดยปล่อยส่วนใส 5 มิลลิลิตรแรกทิ้งไป และเก็บ 3 มิลลิลิตรถัดมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยเติม *o*-phenylenediamine (OPDA) ความเข้มข้น 3.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร วางในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 37 นาที จากนั้นนำตัวอย่างผ่านตัวกรอง 0.45 ไมโครเมตร เก็บสารที่กรองได้ในขวดสีชา เพื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC

#### 2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกและกรดแอสคอร์บิก ดัดแปลงจากวิธีของ Zapata and Dufour (1992) โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid

Chromatograph (Waters, Milford, MA, U.S.A.) ระบบประกอบด้วย Waters 600 pumps (Waters, Milford, MA, U.S.A.) Waters 996 UV diode-array detector และ Waters 717 plus autosampler โดยการฉีดสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ที่ต่อเข้ากับคอลัมน์ชนิด C18 (Symmetry®, 4.6 mm x 250 mm) โดยมีเมทานอลต่อน้ำปราศจากไอออน (5:95) ที่มีส่วนผสมของ 5 mM hexadecyltrimethyl-ammonium bromide (CTAB) และ 50 mM โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และมีค่าความเป็นกรด-เบส 4.59 เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ detector ชนิด UV diode-array ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตร สำหรับตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดไอโซแอสคอร์บิก และที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร สำหรับตรวจวัดกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก คำนวณหาความเข้มข้นโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (ภาพผนวกที่ ข1A) กราฟมาตรฐานของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (ภาพผนวกที่ ข1B) และกราฟมาตรฐานของกรดไอโซแอสคอร์บิก (ภาพผนวกที่ ข1C) ตามลำดับ ที่มีความเข้มข้นของกรดต่างๆ ในช่วง 20-100 ppm รายงานผลเป็นมิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อ 100 มิลลิตรของตัวอย่าง มิลลิกรัมกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกต่อ 100 มิลลิตรของตัวอย่าง และมิลลิกรัมของปริมาณวิตามินซีทั้งหมดซึ่งเป็นผลรวมของกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกต่อ 100 มิลลิตรของตัวอย่าง โครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์สารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก สารมาตรฐานกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และสารมาตรฐานกรดไอโซแอสคอร์บิก ดังภาพผนวกที่ ข2, ข3 และ ข4 ตามลำดับ และโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และกรดไอโซแอสคอร์บิกของน้ำสับประรดสด ดังภาพผนวกที่ ข5 และ ข6

## 2.5 วิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชัน

### 2.5.1 การวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH (Antioxidant Activity: DPPH Assay)

วิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Radical Scavenging Capacity Assay (DPPH) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al.* (2002) โดยนำตัวอย่างน้ำสับประรดในแต่ละสภาวะการเก็บรักษาซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1 มาตัวอย่างละ 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิตร เขย่า และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซีความเข้มข้น 20-100 ppm (ภาพผนวกที่ ค1) รายงาน

ผลเป็นความสามารถในการเป็นสารต้านออกเดชัน (มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีต่อ 100 มิลลิกรัมของตัวอย่าง)

## 2.5.2 การวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ORAC (Antioxidant Activity: ORAC Assay)

วิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) Assay ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Prior *et al.* (2003) โดยนำตัวอย่างน้ำสับประรดในแต่ละสภาวะการเก็บรักษาซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1 มาตัวอย่างละ 20 ไมโครลิตรใส่ใน well plate สีดำขนาด 96 หลุม เติมสารละลายฟลูออเรสเซิน 200 ไมโครลิตร หลังจากนั้นนำ well plate ไปใส่ในเครื่องวัดการดูดกลืนแสงฟลูออเรสเซิน กำหนดให้ป้อนภายในเครื่องเติมสารละลาย AAPH (ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) ความเข้มข้น 63.4 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ลงในหลุมแล้วทำการอ่านค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซินสัมพัทธ์ (relative fluorescence intensity) ทันที โดยมีการตั้งค่าความยาวคลื่น excitation เป็น 480 นาโนเมตร และ emission เป็น 520 นาโนเมตร ทำการอ่านค่าทุก 160 วินาที (cycle time) จนกว่าค่าที่อ่านได้จะมีค่าไม่เกิน ร้อยละ 5 ของค่าเริ่มต้น รายละเอียดการตั้งค่าการวัดแสดงในภาพผนวกที่ ค2 การวิเคราะห์ผลทำโดยหาพื้นที่ใต้กราฟของสารสกัด จากสมการระหว่างค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซินสัมพัทธ์กับเวลา ดังแสดงในสมการที่ 15 แล้วนำไปลบออกด้วยพื้นที่ใต้กราฟของ blank แล้วจึงนำค่าไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox (กราฟมาตรฐาน Trolox แสดงในภาพผนวกที่ ค2) โดยการสร้างกราฟมาตรฐานใช้ Trolox แทนตัวอย่าง และการหาค่า blank ใช้ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 แทนตัวอย่าง ค่าที่ได้คำนวณแสดงเป็นปริมาณของ Trolox ในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของ Trolox ต่อ 100 มิลลิกรัมของตัวอย่าง

$$AUC = (0.5 + f_5/f_4 + f_6/f_4 + f_7/f_4 + \dots + f_i/f_4) \times CT \quad (15)$$

- เมื่อ
- AUC = พื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve)
  - $f_4$  = ค่าความเข้มของแสงฟลูออเรสเซินเริ่มต้น โดยเริ่มอ่านที่รอบที่ 4 (initial fluorescence reading at cycle 4)
  - $f_i$  = ค่าความเข้มของแสงฟลูออเรสเซินเมื่ออ่านที่รอบที่ i (fluorescence reading at cycle i)
  - CT = เวลาที่ใช้ต่อรอบ มีหน่วยเป็นนาที (Cycle time)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ทำการทดลองซ้ำ (duplication) 2 ครั้ง วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

3. การศึกษาผลของกระบวนการอัลตราฟิเตรชันและการใช้ความร้อนต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี ความสามารถต้านออกซิเดชัน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำสับประรด

3.1 ผลของกระบวนการอัลตราฟิเตรชันต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับประรด

3.1.1 การผลิตน้ำสับประรดโดยกระบวนการอัลตราฟิเตรชัน

ป้อนตัวอย่างน้ำสับประรดสดซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1 ผ่าน

กระบวนการอัลตราฟิเตรชัน (ภาพผนวกที่ ก10) ซึ่งใช้เมมเบรนโพลีซัลโฟนแบบเส้นใยกลวง (hollow fiber) ที่มี molecular weight cut-off (MWCO) ขนาด 100 กิโลดาลตัน (100,000 ดาลตัน) โดยใช้สภาวะในการกรองที่ความดัน (TMP) 100 กิโลปาสคาล และความเร็วในการไหลของสารป้อนในทิศทางขนานกับเมมเบรน (cross flow velocity) 1.18 เมตรต่อวินาที ความคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส หยุดการกรองเมื่อปริมาณสารป้อนลดลง 85 เปอร์เซ็นต์ (Thomas *et. al.*, 1986) จากนั้นเก็บส่วนของเพอมีเอท (ส่วนที่ผ่านเมมเบรน) และรีเทนเทท (ส่วนที่เหลือจากการกรอง) เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

3.1.2 ตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเทท โดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

3.1.3 วิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเทท เช่นเดียวกับข้อ 1.2

3.2 ผลของการใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ต่อการเปลี่ยนแปลงสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ

### 3.2.1 การผลิตน้ำสับปรดโดยใช้ความร้อน

นำน้ำสับปรดสดซึ่งเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1 และส่วนของรีเทนเททจากข้อ 3.1.1 มาให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ด้วยเครื่องผลิตอาหารเหลวพร้อมดื่มระบบพาสเจอร์ไรส์และยูเอชที (MicroThermics) ที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที บรรจุในขวดขณะร้อนและทำให้เย็นลงโดยแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากวิธีของ Mehrlich and Felton, 1980) จะได้น้ำสับปรดพาสเจอร์ไรส์และส่วนรีเทนเททพาสเจอร์ไรส์สำหรับการวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่อไป

3.2.2 ตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำสับปรดพาสเจอร์ไรส์ โดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

3.2.3 วิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับปรดพาสเจอร์ไรส์ เช่นเดียวกับข้อ 1.2

3.3 การวิเคราะห์สารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับปรดผสมจากส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททพาสเจอร์ไรส์

ผสมส่วนของเพอมีเอทจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในข้อ 3.1.1 และส่วนของรีเทนเททที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในข้อ 3.2.1 ในอัตราส่วน 85:15 ตามลำดับ (น้ำสับปรดผสม) ซึ่งเป็นอัตราส่วนเดียวกับเพอมีเอทและรีเทนเททที่ได้จากการผลิตด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเพื่อให้ได้น้ำสับปรดที่คุณลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำสับปรดสด เนื่องจากส่วนที่ต้องนำไปใช้คือ ส่วนของเพอมีเอท มีคุณลักษณะค่อนข้างใสซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

3.3.1 ตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำสับปรดผสม โดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

3.3.2 วิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับปรดผสม เช่นเดียวกับข้อ 1.2

3.4 ผลของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและการใช้ความร้อนต่อปริมาณวิตามินซีของน้ำสับปรด

3.4.1 วิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 2.4.1 และ 2.4.2

3.5 ผลของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและการใช้ความร้อนต่อความสามารถด้านออกซิเดชันของน้ำสับประรด

3.5.1 วิเคราะห์ความสามารถด้านออกซิเดชันเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 2.5.1 และ 2.5.2

3.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำสับประรดสด น้ำสับประรดที่ได้จากการผลิตด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและการใช้ความร้อน

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้การทดสอบหาความแตกต่างโดยรวมทั้งหมดทางด้านกลิ่นและรสชาติจากตัวอย่างควบคุมด้วยวิธี Different from Control Test โดยเตรียมตัวอย่างน้ำสับประรดสด น้ำสับประรดส่วนเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประรดผสม ปริมาณประมาณ 20 มิลลิลิตร ลงในถ้วยพลาสติก โดยแต่ละถ้วยติดรหัสสุ่ม 3 หลัก ใช้ตัวอย่างน้ำสับประรดสดเป็นตัวอย่างควบคุมซึ่งติดรหัส “C” นำเสนอตัวอย่างทีละคู่ คือ ตัวอย่างควบคุมคู่กับตัวอย่างน้ำสับประรดส่วนเพอมีเอท, ตัวอย่างควบคุมกับตัวอย่างน้ำสับประรดส่วนรีเทนเทท และตัวอย่างควบคุมกับตัวอย่างน้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์แบบสุ่มลำดับการเสิร์ฟ โดยมีผู้ทดสอบที่ผ่านการสัมภาษณ์แล้วว่าชอบดื่มน้ำสับประรด (นิสิตปริญญาโทและเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) จำนวน 40 คน ประเมินตัวอย่าง แล้วบอกความแตกต่างของกลิ่นและรสชาติในแต่ละตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และให้คะแนนตามสเกลที่กำหนด ตามตัวอย่างแบบประเมินทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก ง แบบทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

การทดลองข้อ 3.1-3.5 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) แต่สำหรับการทดลองข้อ 3.6 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยทำการทดลองซ้ำ (duplication) 2 ครั้ง

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) สารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชัน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) คะแนนความแตกต่างจาก ตัวอย่างควบคุม ด้วยโปรแกรม SPSS (version 13.0) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Dunnett's test

#### 4. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

#### 5. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 สิ้นสุดเดือนตุลาคม พ.ศ. 2552

## ผลและวิจารณ์

### 1. สารระเหยในน้ำสับประรดสด

ในช่วงแรกของการวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดสดด้วยเครื่อง GC ใช้เทคนิคการสกัดตัวอย่างแบบ Solid Phase Microextraction (SPME) โดยทดสอบใช้ไฟเบอร์สำหรับดูดซับสารระเหย 2 ชนิด ได้แก่ polydimethylsiloxane (PDMS) และ carboxen-PDMS จากผลการทดลองพบสารระเหยเพียงไม่กี่ชนิดและไม่ปรากฏฟีกของสารระเหยสำคัญในสับประรด เช่น 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ซึ่งมีรายงานในงานวิจัยและฐานข้อมูลด้านกลิ่นรส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการดูดซับสารของไฟเบอร์มีความจำเพาะในการจับสารบางชนิดเท่านั้น (Kataoka *et al.*, 2000)

การทดลองนี้จึงใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมในการหาปริมาณสารระเหย (Reineccius, 1994) ส่วนตัวทำละลายเลือกใช้ไดคลอโรโรมีเทนซึ่งสามารถสกัดสารระเหยหลายๆกลุ่มได้ดี (Parliament, 1997, 2002) แต่พบว่าประสิทธิภาพในการสกัด 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone และสารระเหยชนิดอื่นๆ ยังไม่ดีพอ จึงทดลองใช้ร่วมกับตัวทำละลายชนิดอื่น คือ เพนเทน ซึ่งการใช้ไดคลอโรโรมีเทนและเพนเทนร่วมกัน สามารถสกัดสารระเหยได้มีประสิทธิภาพดีมากขึ้น โดยการสกัดตัวอย่างด้วยไดคลอโรโรมีเทนและเพนเทนผสมกันในอัตราส่วน 2:1 ตามลำดับสามารถสกัดสารระเหยได้มีประสิทธิภาพดี

จากการวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดสดด้วย GC-MS พบสารระเหยทั้งสิ้น 27 ชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบในกลุ่มเอสเตอร์ รองลงมาคือ แอลกอฮอล์ ฟิวราโนน และคีโตน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่วิเคราะห์สารระเหยทั้งในตัวอย่างน้ำและเนื้อสับประรด โดยที่สารประกอบหลักที่สำคัญอยู่ในกลุ่มของเอสเตอร์และฟิวราโนน (Rodin *et al.*, 1965; Takeoka *et al.*, 1989; Umamo *et al.*, 1992; Wu *et al.*, 1991; Elss *et al.*, 2005; Tokitomo *et al.*, 2005) สำหรับการพิจารณาสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับประรดนั้น พิจารณาจากคำบรรยายคุณลักษณะกลิ่นซึ่งได้จากงานวิจัยอื่นๆ และฐานข้อมูลด้านกลิ่นรส ร่วมกับค่า odor activity value (OAV) ซึ่งคำนวณได้จากความเข้มข้นและค่า threshold ของสารนั้นๆ สารระเหยที่มีค่า OAV สูง (OAV > 1) มีแนวโน้มว่าสารนั้นจะเป็นสารสำคัญที่ให้กลิ่น ซึ่งจากการพิจารณาตามข้อมูลข้างต้น พบว่าสารระเหยให้กลิ่นสำคัญที่มีคุณลักษณะกลิ่นสัมพันธ์กับกลิ่นสับประรดและมีค่า OAV > 1 คือ ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, methyl hexanoate และ methyl 3-(methylthio) propanoate

นอกจากนี้แล้ว พบว่ายังมีสารระเหยชนิดอื่นๆ อีกที่มีคุณลักษณะกลิ่นผลไม้และมีค่า OAV > 1 เช่นกัน ได้แก่ ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate สารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับประดจากการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Tokitomo *et al.* (2005) ซึ่งทำการศึกษารวบรวมให้กลิ่นสำคัญในเนื้อสับประดสดพันธุ์ปัตตาเวียโดยวิธี Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) และพิจารณาร่วมกับค่า OAV รายงานว่าสารที่ให้คุณลักษณะกลิ่นเฉพาะของสับประดคือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone และสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์ซึ่งให้กลิ่นผลไม้ ได้แก่ ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate นอกจากนี้ พบว่าสารให้กลิ่นสำคัญที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะของกลิ่นสับประดซึ่งขาดไม่ได้ คือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone หากขาดสารให้กลิ่นนี้จะไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสับประด ดังนั้น 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone จึงถูกพิจารณาให้เป็นสารระเหยให้กลิ่นหลักของน้ำสับประดสด

จากผลการวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประดสดและข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย ทำให้คัดเลือกสารระเหยให้กลิ่นสำคัญซึ่งพิจารณาจากคุณลักษณะของกลิ่นร่วมกับค่า OAV สำหรับใช้ในการศึกษาผลของการเก็บรักษาและการแปรรูปต่อสารระเหยสำคัญของสับประดได้ 9 ชนิด ได้แก่ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, methyl hexanoate, methyl 3-(methylthio) propanoate, ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate

ตารางที่ 5 ชนิด ความเข้มข้นสัมพัทธ์ และ OAV ของสารระเหยในน้ำสับปรดสด

ที่ <sup>a</sup>	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml)	Threshold in water (ng/g)	OAV <sup>b</sup>
			HP-5	FFAP			
<b>Esters</b>							
2	ethyl propanoate	rum-like <sup>c,d</sup>	711	n.d.	68.51	10 <sup>q</sup>	6
3	methyl butanoate	apple-like <sup>c,d</sup>	720	n.d.	58.40	60 <sup>q</sup>	<1
4	ethyl 2-methylpropanoate	fruity <sup>c,e,f,h,i</sup>	755	n.d.	13.01	0.1 <sup>q</sup>	130
5	methyl 2-methylbutanoate	fruity, pineapple <sup>c,g</sup>	775	n.d.	47.86	0.25 <sup>q</sup>	191
6	diethyl carbonate	fresh odor <sup>c</sup>	783	1080	66.31	n.a.	-
7	ethyl butanoate	fruity <sup>c,d,e,f,i</sup>	801	1018	331.33	1 <sup>q</sup>	331
8	ethyl 2-methylbutanoate	fruity <sup>c,e,f,h,i</sup>	848	1022	169.59	0.3 <sup>q</sup>	565
9	isoamyl acetate	banana, pear <sup>c</sup>	878	n.d.	10.44	2 <sup>q</sup>	5
10	ethyl pentanoate	apple-like <sup>c,d</sup>	900	n.d.	25.16	1.5 <sup>q</sup>	16
11	methyl hexanoate	fruity, pineapple <sup>c,d,g</sup>	924	1155	187.54	70 <sup>q</sup>	2
12	dimethyl malonate	green-apple <sup>c</sup>	928	1469	89.06	n.a.	-
13	ethyl 2-(methylthio) acetate	green-fruity <sup>c</sup>	984	-	8.22	25 <sup>n</sup>	<1

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่ <sup>a</sup>	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml)	Threshold in water (ng/g)	OAV <sup>b</sup>
			HP-5	FFAP			
14	ethyl hexanoate	fruity, pineapple <sup>c,d</sup>	998	1202	210.41	1 <sup>q</sup>	210
24	ethyl 3-hydroxybutanoate	-	n.d.	1472	191.33	n.a.	-
15	methyl 3-(methylthio)propanoate	cooked-pineapple <sup>c,d</sup>	1024	1481	386.69	180 <sup>q</sup>	2
16	methyl 3-hydroxyhexanoate	fresh, oily <sup>c</sup>	1052	1597	39.09	3760 <sup>o</sup>	<1
20	ethyl 3-(methylthio)propanoate	caramelized pineapple <sup>c</sup>	1100	1522	232.38	7 <sup>q</sup>	33
21	ethyl 3-hydroxyhexanoate	fresh-fruity, oily <sup>c</sup>	1129	1631	1161.33	270 <sup>o</sup>	4
22	methyl 3-acetoxyhexanoate	fruity green lettuce <sup>c</sup>	1203	1640	118.33	190 <sup>q</sup>	<1
23	ethyl 3-acetoxyhexanoate	fruity, green <sup>c</sup>	1272	1677	387.16	n.a.	-
<b>Lactones</b>							
17	$\gamma$ -hexalactone	coumarin, creamy <sup>c</sup>	1055	1664	195.32	1600 <sup>m</sup>	<1
25	$\gamma$ -butyrolactone	-	n.d.	1591	157.25	n.a.	-
26	$\gamma$ -octalactone	fruity, coconut-like <sup>c,i</sup>	n.d.	1884	67.84	8 <sup>p</sup>	8
27	$\delta$ -octalactone	coconut, creamy <sup>c,i</sup>	n.d.	1938	115.26	400 <sup>p</sup>	<1

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่ <sup>a</sup>	สารระเหย	ลักษณะกลิ่น	RI		ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml)	Threshold in water (ng/g)	OAV <sup>b</sup>
			HP-5	FFAP			
<b>Furanones</b>							
18	2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone	caramel-like <sup>e,f,i</sup>	1060	1549	218.22	3400 <sup>j</sup>	<1
19	2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone	caramel-like, pineapple-like <sup>c,e,i</sup>	1065	2006	1747.24	60 <sup>k</sup>	29
<b>Ketone</b>							
1	3-hydroxy-2-butanone	creamy, yogurt-like <sup>c</sup>	708	1251	138.14	800 <sup>l</sup>	<1

หมายเหตุ <sup>a</sup> ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรม ในภาพผนวกที่ ก1-ก2

<sup>b</sup> ค่า Odor Activity Value คำนวณได้จากความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารหารด้วยค่า threshold ของสารนั้น

<sup>c</sup> ลักษณะกลิ่น จากฐานข้อมูล Flavor-Base 2004 ของ Leffingwell (2004), <sup>d</sup> Fenaroli (1975), <sup>e</sup> Schieberle and Hofmann (1997), <sup>f</sup> Siegmund *et al.* (2001),

<sup>g</sup> Spanier *et al.* (1998), <sup>h</sup> Steinhaus and Schieberle (2000) และ <sup>i</sup> Tokotomo *et al.* (2005).

<sup>j</sup> ค่า threshold ในน้ำ จาก Buttery and Ling (1996), <sup>k</sup> Buttery and Ling. (1998), <sup>l</sup> Buttery *et al.* (1994), <sup>m</sup> Buttery *et al.* (1971), <sup>n</sup> Buttery *et al.* (1982),

<sup>o</sup> Buttner and Schieberle (2001), <sup>p</sup> Engel *et al.* (1988) และ <sup>q</sup> Takeoka *et al.* (1989).

n.a. = not available, n.d. = not detected

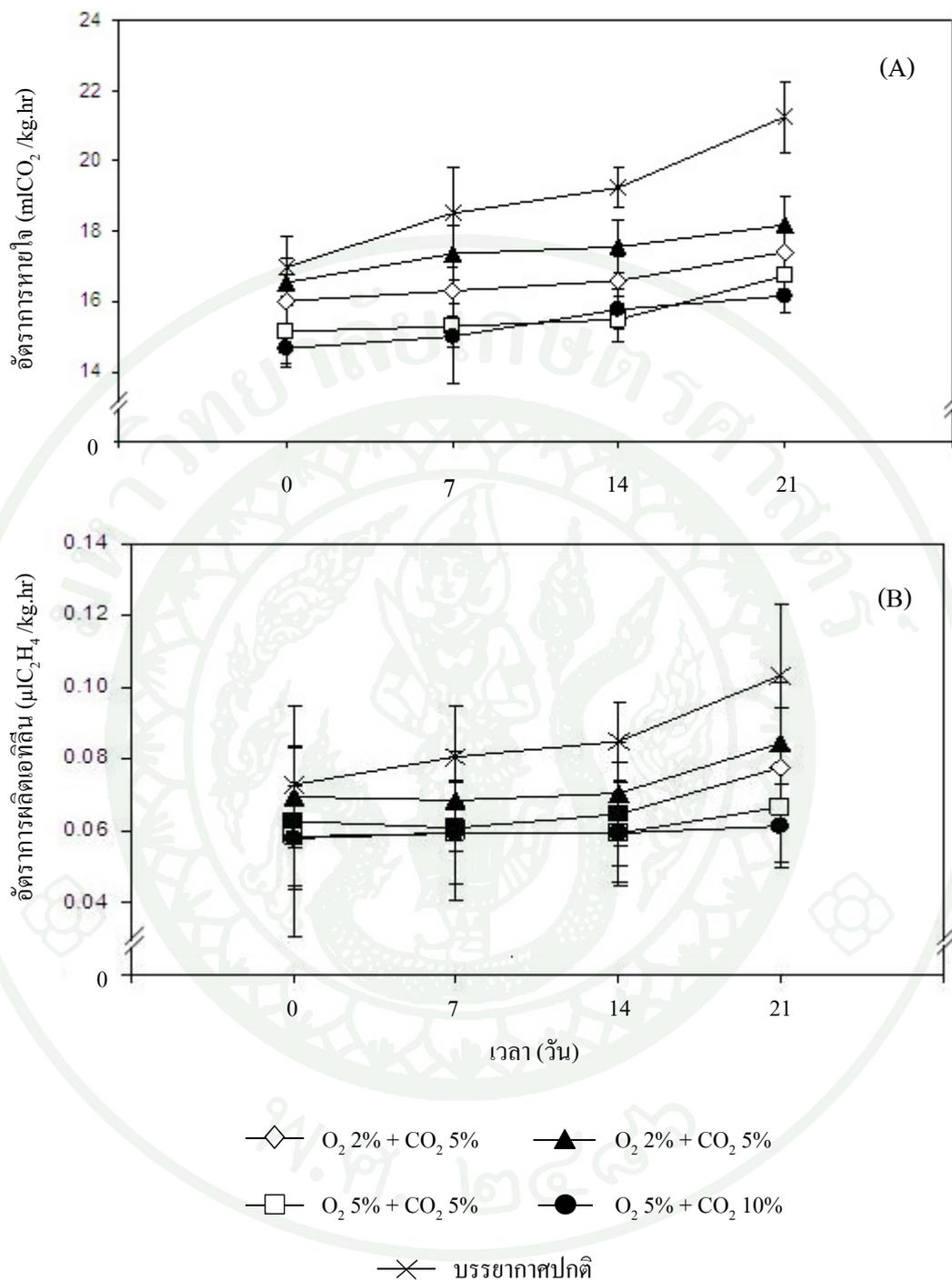
## 2. ผลของสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของน้ำสับปะรด

ในการศึกษาผลของการเก็บรักษาสับปะรดซึ่งผลภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ดังนี้ แก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ( $O_2$  2% +  $CO_2$  5%), แก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ( $O_2$  2% +  $CO_2$  10%), แก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ( $O_2$  5% +  $CO_2$  5%) และแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ( $O_2$  5% +  $CO_2$  10%) เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ซึ่งในทุกการทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-90 เป็นเวลา 28 วัน หรือ 4 สัปดาห์ และตรวจคุณภาพในด้านต่างๆ ในวันที่ 0, 7, 21 และ 28 พบว่า การเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในทุกการทดลองและการเก็บในบรรยากาศปกติ สามารถเก็บรักษาได้ถึงวันที่ 21 เนื่องจากในวันที่ 28 ตรวจพบเชื้อราที่บริเวณเปลือกของสับปะรด ซึ่งแสดงว่า สับปะรดนั้นไม่สามารถนำมาบริโภคได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงนำเสนอผลของการวิเคราะห์ถึงวันที่ 21 ของการเก็บรักษา สาเหตุที่สับปะรดมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง อาจเนื่องมาจากก่อนการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ ผู้วิจัยทำการล้างผลสับปะรดด้วยน้ำประปา หลังจากนั้นจึงซับน้ำและผึ่งให้แห้ง โดยไม่ได้มีการใช้สารเคมีหรือสารอื่นๆ ในการล้างทำความสะอาดผลสับปะรด ซึ่งการล้างด้วยน้ำประปานั้นอาจจะไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราที่บริเวณเปลือกสับปะรด

### 2.1 ผลของเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของผลสับปะรด

จากการศึกษาผลของการเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และ 10 เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่า ผลสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศในทุกการทดลองมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% ผลสับปะรดมีอัตราการหายใจสูงกว่าที่สภาวะ  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในวันที่ 21 ทุก

สภาวะที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) ซึ่งมีอัตราการหายใจอยู่ในช่วง 16-18 mlCO<sub>2</sub>/kg.hr ขณะที่การเก็บในบรรยากาศปกติผล สัมประรมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นและสูงกว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศตลอด ระยะเวลา 21 วันของการทดลอง โดยมีอัตราการหายใจ 21 mlCO<sub>2</sub>/kg.hr (ภาพที่ 4A) (ตารางผนวก ที่ จ1) ส่วนอัตราการผลิตเอทิลีน ผลสัมประรมที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศทุกการ ทดลอง มีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำและค่อนข้างคงที่ในวันที่ 14 หลังจากนั้นอัตราการผลิตเอทิลีน เพิ่มขึ้นโดยที่สภาวะ O<sub>2</sub> 2% + CO<sub>2</sub> 5% และ O<sub>2</sub> 2% + CO<sub>2</sub> 10% ผลสัมประรมีอัตราการผลิตเอ ทิลีนสูงกว่าที่สภาวะ O<sub>2</sub> 5% + CO<sub>2</sub> 5% และ O<sub>2</sub> 5% + CO<sub>2</sub> 10% แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ผลสัมประรมีอัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ในช่วง 0.06-0.08 µlC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg.hr ในขณะที่การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติผลสัมประรมีอัตราการผลิตเอทิลีน เพิ่มขึ้นและสูงกว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศตลอดระยะเวลา 21 วันของการ ทดลอง โดยมีอัตราการผลิตเอทิลีน 0.10 µlC<sub>2</sub>H<sub>4</sub> /kg.hr (ภาพที่ 4B) (ตารางผนวกที่ จ2) จากผลการ ทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าสัมประรมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจาก สัมประรมจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric มีอัตราการหายใจอยู่ในช่วง 22 mlCO<sub>2</sub>/kg.hr ที่ อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่ถึงจุดสูงสุด (ethylene climacteric) อย่างเห็นได้ชัด โดยมีการผลิตเอทิลีนต่ำในช่วง 0.1-1.0 µlC<sub>2</sub>H<sub>4</sub> /kg.hr (Paull, 1997) และการใช้ สภาพบรรยากาศควบคุมสามารถลดอัตราการหายใจของผลิตผลและขบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งมี ผลช่วยชะลอการชราภาพและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายใน (Mattheis *et al.*, 1997; Lavilla *et al.*, 1999)



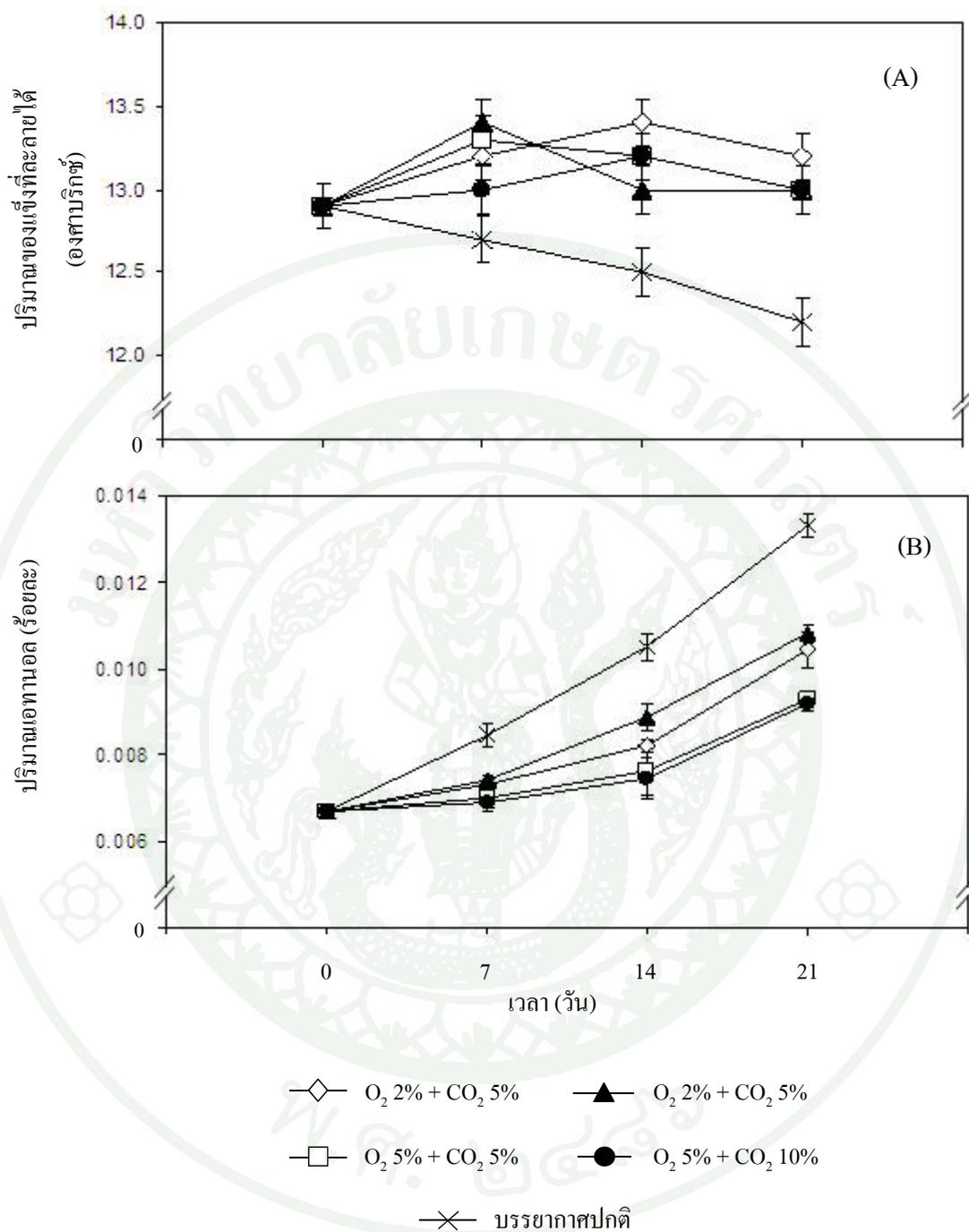
**ภาพที่ 4** อัตราการหายใจ (A) และอัตราการผลิตเอทิลีน (B) ของผลสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

## 2.2 ผลของเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณเอทานอลของน้ำสับปะรด

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำสับปะรดที่คั้นออกมาจากผลซึ่งเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  2% +  $CO_2$  10%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ขณะที่การเก็บในสภาพบรรยากาศปกติปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มลดลงและลดลงต่ำสุด ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 21 วัน (ภาพที่ 5A) (ตารางผนวกที่ จ3) การลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสับปะรดที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ น่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำตาลที่ลดลงเนื่องจากการหายใจ ซึ่งโดยปกติแล้วผลผลิตจะมีการหายใจอยู่ตลอดเวลาและจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหรือพลังงานเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่สะสมอยู่ลดน้อยลง (จริงแท้, 2549) ผลการทดลองในส่วนนี้สอดคล้องกับผลของอัตราการหายใจ ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติผลสับปะรดมีอัตราการหายใจสูงกว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในการทดลองนี้มีแนวโน้มเดียวกับงานวิจัยของสมโภชน์ (2538) ซึ่งรายงานไว้ว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 30 วัน ส่วนเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มลดลง

จากการตรวจสอบปริมาณเอทานอล พบว่า ปริมาณเอทานอลของน้ำสับปะรดที่คั้นจากผลที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่ทุกสภาวะการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยสภาวะการเก็บรักษาที่  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% มีปริมาณเอทานอลสูงกว่าที่สภาวะ  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกันและสูงกว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศตั้งแต่ในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา ( $p \leq 0.05$ ) (ภาพที่ 5B) (ตารางผนวกที่ จ4) การเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 มีปริมาณเอทานอลสูงกว่าสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในสภาวะที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำเกินไป (ร้อยละ 2) อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และทำให้เกิดการสะสมของปริมาณเอทานอล ซึ่งจริงแท้ (2549) กล่าวว่า ในการหายใจ

ของสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนสำหรับการสร้างพลังงาน (ATP) เพื่อใช้ในการดำรงชีพ ดังนั้น ผลผลิตที่อยู่ภายใต้บรรยากาศที่ขาดออกซิเจนจึงจำเป็นต้องใช้ทางอื่นเพื่อให้ได้พลังงานมา โดยการใช้กระบวนการหมัก (fermentation) น้ำตาลเมื่อผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) จนได้กรดไพรูวิก (pyruvic) แล้วจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นอะซีทัลดีไฮด์และเอทานอล ส่วนการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติมีปริมาณเอทานอลสูงกว่าเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ อาจเป็นเพราะที่บรรยากาศปกติผลสับปะรดมีอัตราการหายใจสูงกว่าซึ่งนำไปสู่การชราภาพ ทำให้ผลผลิตเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้นและอาจเกิดกลิ่นหมักเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ (Bartholomew *et al.*, 2003) การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลสอดคล้องกับ Singh and Pal (2008) ซึ่งได้ศึกษาการเก็บรักษาผลฝรั่งในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีระดับแก๊สออกซิเจน 2.5, 5, 8 และ 10 kPa ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2.5, 5 และ 10 kPa เปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน พบว่าปริมาณเอทานอลในผลฝรั่งที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและสูงกว่าการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศในทุกสภาวะ และการเก็บรักษาผลฝรั่งในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีระดับแก๊สออกซิเจน 2.5 kPa ผลฝรั่งจะมีการสะสมเอทานอลในปริมาณที่สูงกว่าสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีระดับแก๊สออกซิเจน 5, 8 และ 10 kPa เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน



ภาพที่ 5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (A) และปริมาณเอทานอล (B) ในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

2.3 ผลของเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของน้ำสับประรด

การวิเคราะห์สารระเหยของสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ ในทุกการทดลองทำการวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดที่คั้นออกมาจากผลด้วยวิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดสด และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของน้ำสับประรดที่คัดเลือกได้จากผลการทดลองข้อ 1 จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, methyl 3-(methylthio) propanoate, methyl hexanoate, ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate

จากการศึกษาผลของการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  2% +  $CO_2$  10%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน ต่อการเปลี่ยนแปลงสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ โดยทำการตรวจวัดสารระเหยในน้ำสับประรดที่คั้นจากผลในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 พบว่า การเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่ทุกสภาวะการทดลอง ตรวจพบชนิดของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญทั้งหมดเช่นเดียวกับที่พบในน้ำสับประรดสด แต่ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญแต่ละชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 6) โดยการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญทั้ง 9 ชนิด ไม่แตกต่างกับน้ำสับประรดสด (วันที่ 0) เมื่อเก็บรักษานาน 14 วัน (ตารางที่ 6 และ 7) หลังจากนั้นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 21 (ตารางที่ 8) นอกจากนี้ การวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-MS ยังตรวจพบสารบางชนิดในการเก็บรักษาสภาพบรรยากาศควบคุมในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา คือ 2-pentanol ซึ่งให้กลิ่นเขียว (green) (Acree and Arn, 2009) และ 2,3-butanediol ให้กลิ่นครีม (creamy) และ กลิ่นเนย (butter) (Leffingwell and Associates, 2004) (ภาพที่ 7A และ 7B) (ภาพผนวกที่ ก3-ก4) ซึ่งในการศึกษาของ Duarte *et al.* (2006) รายงานว่า พบสาร 2,3-butanediol ในน้ำมะม่วงที่เกิดการเสื่อมเสียจากกระบวนการหมัก จากผลการทดลองในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาสับประรดได้เป็นเวลา 14 วัน โดยสารให้กลิ่นสำคัญไม่ต่างจากน้ำสับประรดสด แต่

หลังจากเก็บรักษาจนถึงวันที่ 21 พบสาร 2-pentanol และ 2,3-butanediol ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้กลิ่นรสของน้ำสับปะรดเปลี่ยนไป

สำหรับการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบสารระเหยให้กลิ่นสำคัญทั้งหมดในน้ำสับปะรด เช่นเดียวกับที่พบในน้ำสับปะรดสด (วันที่ 0) และมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญลดลงเล็กน้อยซึ่งไม่แตกต่างกับน้ำสับปะรดสดจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาในวันที่ 21 ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 6-8 และ ภาพที่ 6 และจากการวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับปะรดที่คั้นออกมาจากผลสับปะรดที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศนี้ตรวจไม่พบสารระเหยอื่นๆ จนถึงสิ้นสุดระยะเวลาของการเก็บรักษา ขณะที่การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของสับปะรดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ตั้งแต่ในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา และในวันที่ 21 ตรวจไม่พบสาร ethyl 2-methylpropanoate ซึ่งเป็นหนึ่งในสารให้กลิ่นสำคัญที่ศึกษา (ตารางที่ 6-8) นอกจากนั้นการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติยังตรวจพบ 2-pentanol และ 2,3-butanediol ตั้งแต่วันที่ 7 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 7A และ 7B) (ภาพผนวกที่ ก5-ก7)

จากการศึกษาผลของสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  2% +  $CO_2$  10%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของน้ำสับปะรด สรุปได้ว่า การเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพบรรยากาศควบคุมนี้ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของน้ำสับปะรดได้ดีกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ และการเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นของน้ำสับปะรดได้ดีกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% โดยที่สารระเหยให้กลิ่นสำคัญไม่แตกต่างกับน้ำสับปะรดสดและไม่มีสารระเหยอื่นๆ ที่อาจสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นน้ำสับปะรด เกิดขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา

ตารางที่ 6 ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml)					
	น้ำสับปะรดสด (วันที่ 0)	สภาพบรรยากาศที่เก็บรักษา				
		O <sub>2</sub> 2%+CO <sub>2</sub> 5%	O <sub>2</sub> 2%+CO <sub>2</sub> 10%	O <sub>2</sub> 5%+CO <sub>2</sub> 5%	O <sub>2</sub> 5%+CO <sub>2</sub> 10%	บรรยากาศปกติ
ethyl 2-methylpropanoate	14.21 <sup>a</sup>	13.69 <sup>a</sup>	13.53 <sup>a</sup>	13.82 <sup>a</sup>	13.98 <sup>a</sup>	8.63 <sup>b</sup>
methyl 2-methylbutanoate	48.76 <sup>a</sup>	47.27 <sup>a</sup>	46.92 <sup>a</sup>	47.56 <sup>a</sup>	48.01 <sup>a</sup>	38.71 <sup>b</sup>
ethyl butanoate	332.54 <sup>a</sup>	329.12 <sup>a</sup>	328.49 <sup>a</sup>	329.98 <sup>a</sup>	330.96 <sup>a</sup>	289.74 <sup>b</sup>
ethyl 2-methylbutanoate	171.62 <sup>a</sup>	169.94 <sup>a</sup>	169.25 <sup>a</sup>	170.03 <sup>a</sup>	170.74 <sup>a</sup>	134.38 <sup>b</sup>
methyl hexanoate	189.56 <sup>a</sup>	186.48 <sup>a</sup>	186.23 <sup>a</sup>	187.03 <sup>a</sup>	187.59 <sup>a</sup>	143.65 <sup>b</sup>
ethyl hexanoate	212.27 <sup>a</sup>	207.06 <sup>a</sup>	205.11 <sup>a</sup>	209.06 <sup>a</sup>	209.43 <sup>a</sup>	174.88 <sup>b</sup>
methyl 3-(methylthio) propanoate	388.75 <sup>a</sup>	379.43 <sup>a</sup>	375.40 <sup>a</sup>	383.46 <sup>a</sup>	385.44 <sup>a</sup>	304.02 <sup>b</sup>
2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone	1,756.34 <sup>a</sup>	1,725.36 <sup>a</sup>	1,721.74 <sup>a</sup>	1,744.17 <sup>a</sup>	1,745.38 <sup>a</sup>	1,446.98 <sup>b</sup>
ethyl 3-(methylthio) propanoate	234.68 <sup>a</sup>	229.49 <sup>a</sup>	228.36 <sup>a</sup>	230.57 <sup>a</sup>	231.75 <sup>a</sup>	188.04 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ 7 ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

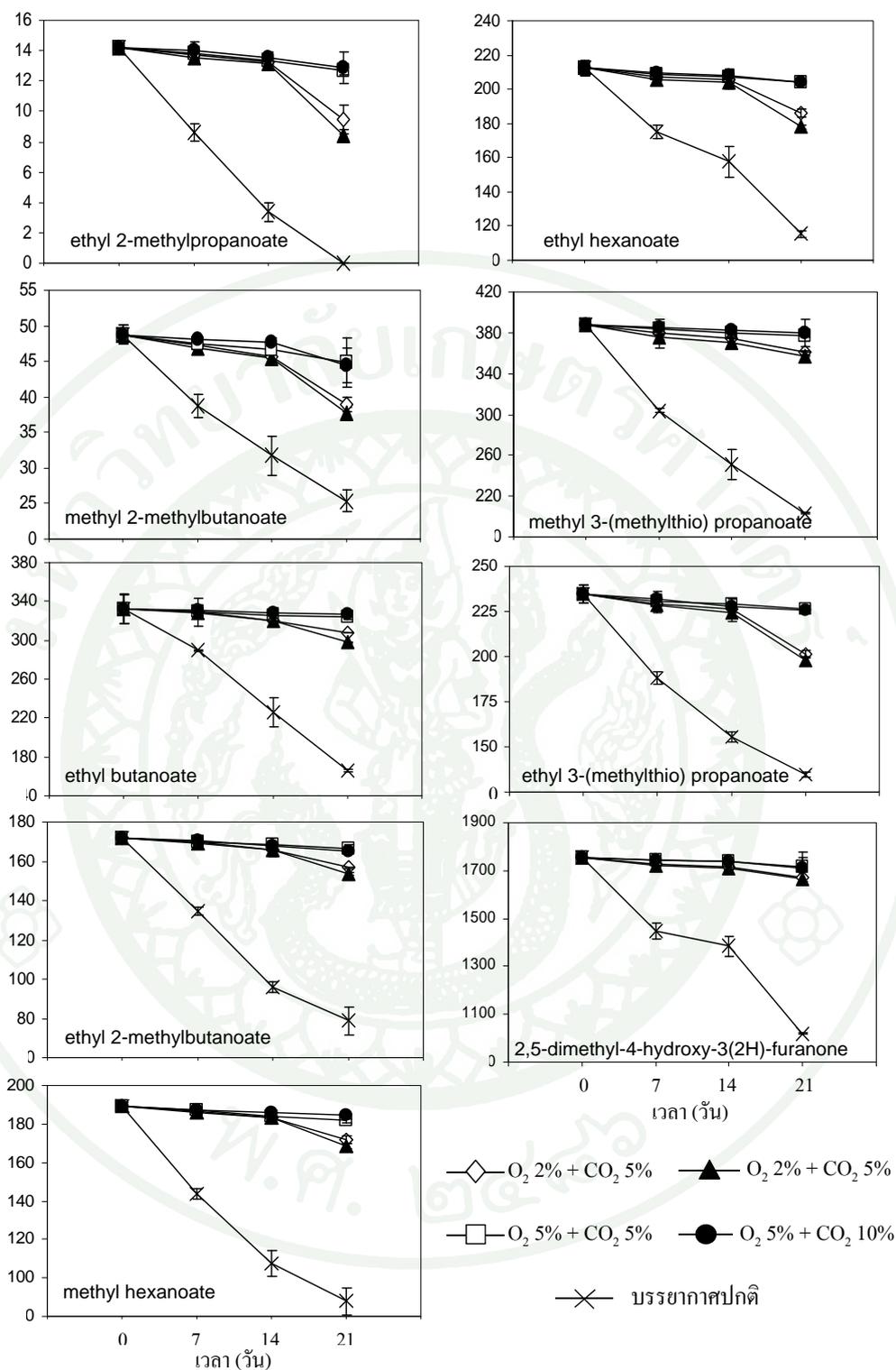
สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml)					
	น้ำสับปะรดสด (วันที่ 0)	สภาพบรรยากาศที่เก็บรักษา				
		O <sub>2</sub> 2%+CO <sub>2</sub> 5%	O <sub>2</sub> 2%+CO <sub>2</sub> 10%	O <sub>2</sub> 5%+CO <sub>2</sub> 5%	O <sub>2</sub> 5%+CO <sub>2</sub> 10%	บรรยากาศปกติ
ethyl 2-methylpropanoate	14.21 <sup>a</sup>	13.23 <sup>a</sup>	13.19 <sup>a</sup>	13.59 <sup>a</sup>	13.62 <sup>a</sup>	3.38 <sup>b</sup>
methyl 2-methylbutanoate	48.76 <sup>a</sup>	45.64 <sup>a</sup>	45.39 <sup>a</sup>	46.74 <sup>a</sup>	47.63 <sup>a</sup>	31.74 <sup>b</sup>
ethyl butanoate	332.54 <sup>a</sup>	320.67 <sup>a</sup>	319.84 <sup>a</sup>	325.46 <sup>a</sup>	328.53 <sup>a</sup>	225.60 <sup>b</sup>
ethyl 2-methylbutanoate	171.62 <sup>a</sup>	165.67 <sup>a</sup>	165.53 <sup>a</sup>	168.49 <sup>a</sup>	167.65 <sup>a</sup>	96.24 <sup>b</sup>
methyl hexanoate	189.56 <sup>a</sup>	183.37 <sup>a</sup>	182.96 <sup>a</sup>	184.22 <sup>a</sup>	186.24 <sup>a</sup>	107.54 <sup>b</sup>
ethyl hexanoate	212.27 <sup>a</sup>	205.56 <sup>a</sup>	203.81 <sup>a</sup>	206.98 <sup>a</sup>	207.57 <sup>a</sup>	157.72 <sup>b</sup>
methyl 3-(methylthio) propanoate	388.75 <sup>a</sup>	374.56 <sup>a</sup>	370.84 <sup>a</sup>	380.28 <sup>a</sup>	381.93 <sup>a</sup>	250.76 <sup>b</sup>
2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone	1,756.34 <sup>a</sup>	1,715.98 <sup>a</sup>	1,709.89 <sup>a</sup>	1,736.96 <sup>a</sup>	1,739.07 <sup>a</sup>	1,383.45 <sup>b</sup>
ethyl 3-(methylthio) propanoate	234.68 <sup>a</sup>	226.43 <sup>a</sup>	224.02 <sup>a</sup>	229.14 <sup>a</sup>	227.58 <sup>a</sup>	155.62 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

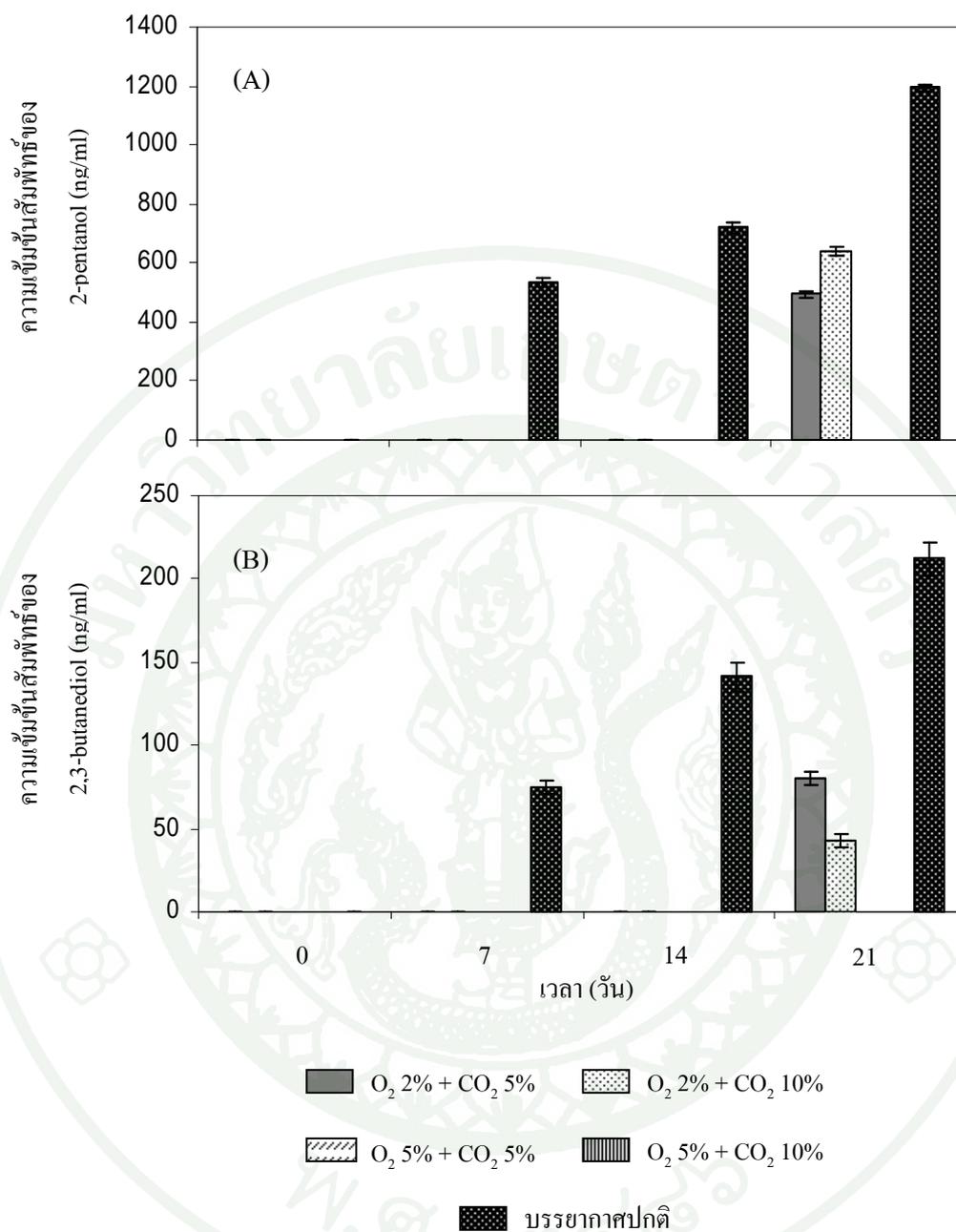
**ตารางที่ 8** ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml)					
	น้ำสับปะรดสด (วันที่ 0)	สภาพบรรยากาศที่เก็บรักษา				
		O <sub>2</sub> 2%+CO <sub>2</sub> 5%	O <sub>2</sub> 2%+CO <sub>2</sub> 10%	O <sub>2</sub> 5%+CO <sub>2</sub> 5%	O <sub>2</sub> 5%+CO <sub>2</sub> 10%	บรรยากาศปกติ
ethyl 2-methylpropanoate	14.21 <sup>a</sup>	9.47 <sup>b</sup>	8.44 <sup>b</sup>	12.71 <sup>a</sup>	12.84 <sup>a</sup>	- <sup>c</sup>
methyl 2-methylbutanoate	48.76 <sup>a</sup>	38.85 <sup>b</sup>	37.73 <sup>b</sup>	44.82 <sup>a</sup>	44.41 <sup>a</sup>	25.36 <sup>c</sup>
ethyl butanoate	332.54 <sup>a</sup>	307.78 <sup>b</sup>	297.65 <sup>b</sup>	323.76 <sup>a</sup>	326.57 <sup>a</sup>	165.46 <sup>c</sup>
ethyl 2-methylbutanoate	171.62 <sup>a</sup>	156.64 <sup>b</sup>	152.35 <sup>b</sup>	166.58 <sup>a</sup>	165.19 <sup>a</sup>	78.56 <sup>c</sup>
methyl hexanoate	189.56 <sup>a</sup>	171.83 <sup>b</sup>	168.42 <sup>b</sup>	181.75 <sup>a</sup>	184.34 <sup>a</sup>	87.94 <sup>c</sup>
ethyl hexanoate	212.27 <sup>a</sup>	185.87 <sup>b</sup>	178.16 <sup>b</sup>	203.84 <sup>a</sup>	204.11 <sup>a</sup>	115.44 <sup>c</sup>
methyl 3-(methylthio) propanoate	388.75 <sup>a</sup>	361.16 <sup>b</sup>	357.50 <sup>b</sup>	376.53 <sup>a</sup>	379.72 <sup>a</sup>	203.35 <sup>c</sup>
2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone	1,756.34 <sup>a</sup>	1,670.55 <sup>b</sup>	1,665.85 <sup>b</sup>	1,715.32 <sup>a</sup>	1,712.53 <sup>a</sup>	1,018.32 <sup>c</sup>
ethyl 3-(methylthio) propanoate	234.68 <sup>a</sup>	201.54 <sup>b</sup>	197.90 <sup>b</sup>	226.41 <sup>a</sup>	225.57 <sup>a</sup>	134.76 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 6 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

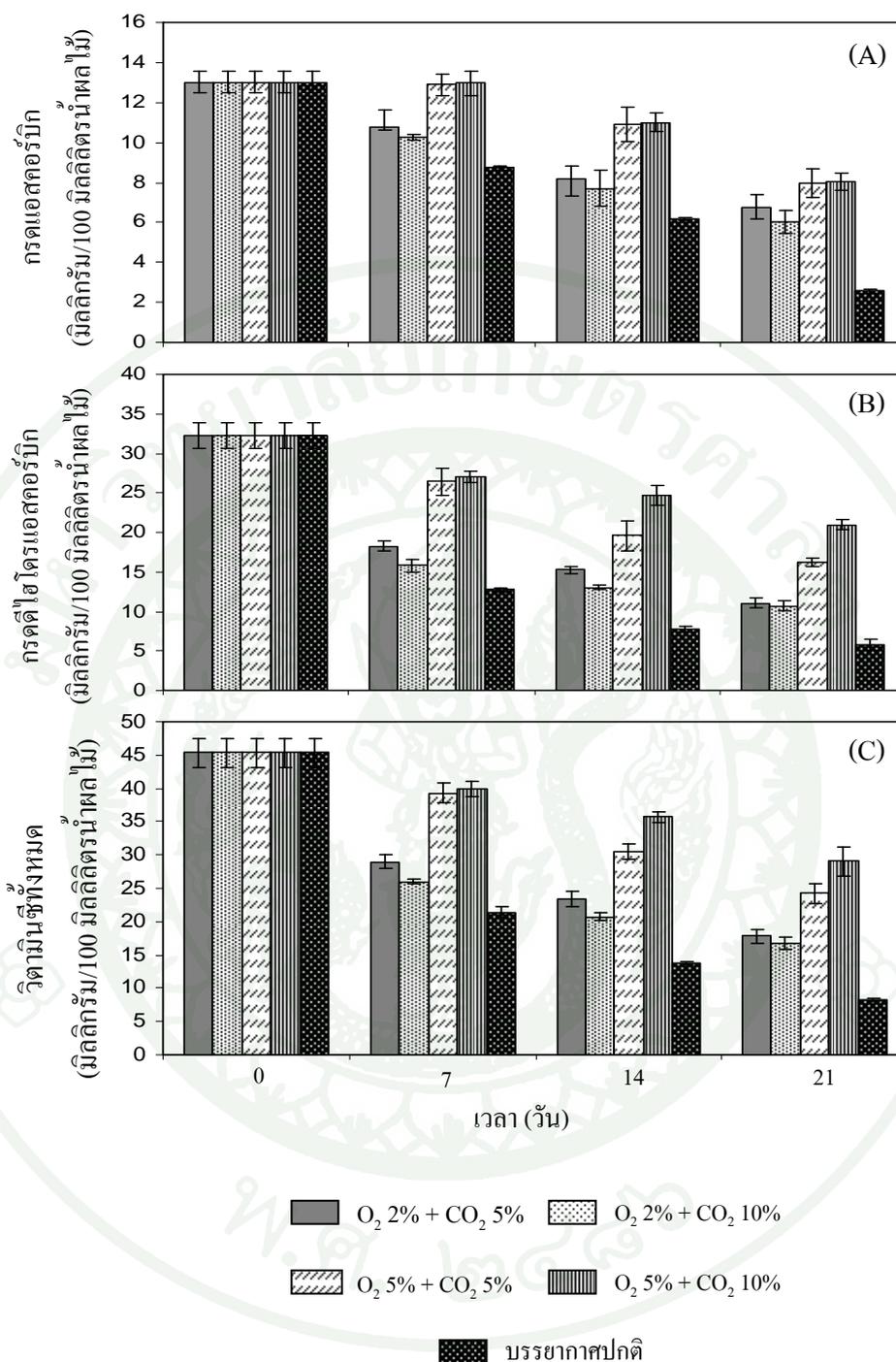


ภาพที่ 7 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ 2-pentanol (A) และ 2,3-butanediol (B) ในสัปดาห์ที่เก็บรักษา ภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

## 2.4 ผลของเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อปริมาณวิตามินซีของน้ำสับประรด

จากการศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของน้ำสับประรดสด น้ำสับประรดคั้นจากผลที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  2% +  $CO_2$  10%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% และการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าน้ำสับประรดสดและน้ำสับประรดที่คั้นจากผลที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศในทุกสภาวะ และการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ มีปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกสูงกว่ากรดแอสคอร์บิก (ภาพที่ 8A และ 8B) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดแอสคอร์บิกสลายได้ง่ายจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความร้อน แสงสว่าง และเอนไซม์ ด้วยเหตุนี้จึงอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกในระหว่างขั้นตอนการเตรียมน้ำสับประรดก่อนทำการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตาม กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกยังคงมีคุณสมบัติในการเป็นสารรีดิวซ์ซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ได้เช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก (จินตนา, 2543; Hernández *et al.*, 2006)

จากผลของการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  2% +  $CO_2$  10%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของน้ำสับประรดที่คั้นจากผล พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของสับประรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศทุกสภาวะและสภาพบรรยากาศปกติมีแนวโน้มลดลงจากน้ำสับประรดสด (วันที่ 0) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ ๖) อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่ทุกสภาวะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดสูงกว่าการเก็บรักษาที่สภาพบรรยากาศปกติ จนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา (ภาพที่ 8A, 8B และ 8C) โดยการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% มีสูญเสียกรดแอสคอร์บิก กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และวิตามินซีทั้งหมดน้อยกว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% และสภาพบรรยากาศปกติ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งพิจารณาได้จากร้อยละการลดลง ดังแสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 8 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A) ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (B) และปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (C) ในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

**ตารางที่ 9** ร้อยละการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และ ปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่ อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบน้ำสับปะรดสด

สภาพบรรยากาศ	ร้อยละการลดลง		
	กรดแอสคอร์บิก	กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก	วิตามินซีทั้งหมด
O <sub>2</sub> 2% + CO <sub>2</sub> 5%	48.23 <sup>c</sup>	65.79 <sup>b</sup>	60.74 <sup>b</sup>
O <sub>2</sub> 2% + CO <sub>2</sub> 10%	53.60 <sup>b</sup>	66.87 <sup>b</sup>	63.66 <sup>b</sup>
O <sub>2</sub> 5% + CO <sub>2</sub> 5%	38.79 <sup>d</sup>	49.40 <sup>c</sup>	46.49 <sup>c</sup>
O <sub>2</sub> 5% + CO <sub>2</sub> 10%	38.25 <sup>d</sup>	35.01 <sup>d</sup>	35.94 <sup>d</sup>
บรรยากาศปกติ	80.41 <sup>a</sup>	82.23 <sup>a</sup>	81.71 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ** ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

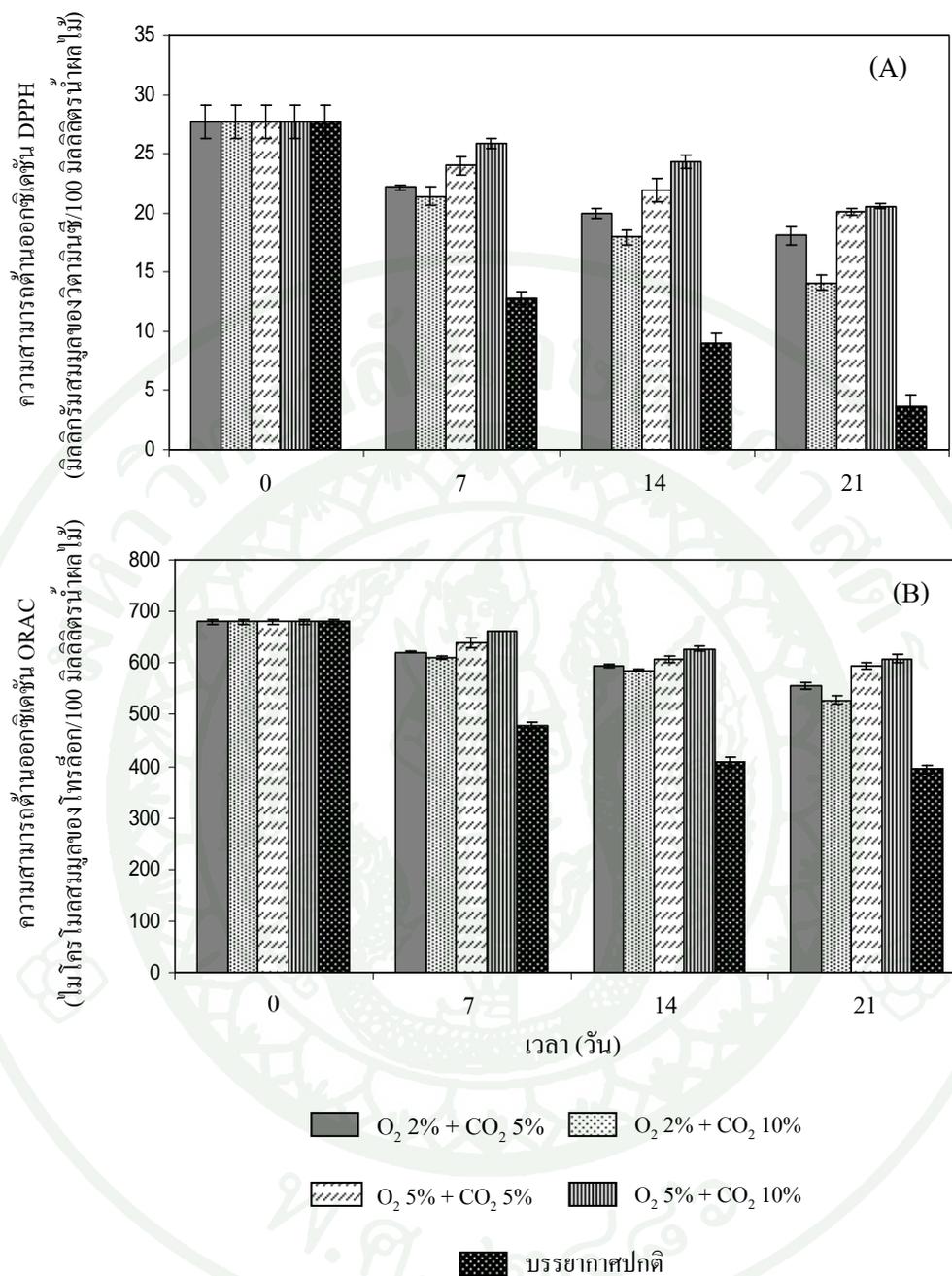
การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของอากาศในการเก็บรักษาของผลิตผล โดยออกซิเจนจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก จากนั้นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกอาจถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น 2,3-diketogulonic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซี ส่วนแก๊สเอทิลีนซึ่งมีผลเร่งการสุกของผลไม้และการเสื่อมสลายตัวของผลิตผลต่างๆ ไป ไม่พบว่ามีความทำให้เกิดการสูญเสียกรดแอสคอร์บิก (Salunkhe, 1974) ในการทดลองนี้ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติที่มีออกซิเจนร้อยละ 21 และมีอัตราการหายใจสูงกว่าการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศ มีการลดลงของกรดแอสคอร์บิกมากที่สุด

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าสภาพควบคุมบรรยากาศช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของวิตามินซีได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของสมโภชน์ (2538) ที่รายงานว่า การเก็บรักษาผลสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองในสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ O<sub>2</sub> 5% + CO<sub>2</sub> 10% ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในเนื้อสับปะรดลดลงร้อยละ 40 ขณะที่การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ ต้องรัก (2545) กล่าวว่า ผลสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 5%, O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 10%, O<sub>2</sub> 5% + CO<sub>2</sub> 5%, O<sub>2</sub> 5% + CO<sub>2</sub>

10% และเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วัน ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของสับปะรดในทุกสภาวะการเก็บรักษาลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศจะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา และการเก็บรักษาในสภาพ  $O_2$  3% +  $CO_2$  5% มีการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกต่ำที่สุด

2.5 ผลของเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำสับปะรด

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำสับปะรดที่คั้นจากผลสับปะรดที่เก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  2% +  $CO_2$  10%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน โดยตรวจวัดความสามารถต้านออกซิเดชัน ในวันที่ 0, 7 และ 21 ด้วยวิธี DPPH และ ORAC จากการทดลองพบว่า ความสามารถต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ ORAC มีแนวโน้มเดียวกัน โดยน้ำสับปะรดที่คั้นออกมาจากผลสับปะรดในทุกสภาวะการทดลองมีค่าลดลงจากน้ำสับปะรดสดตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ ๖) การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศในทุกสภาวะมีความสามารถต้านออกซิเดชันสูงกว่าการเก็บที่สภาพบรรยากาศปกติ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ภาพที่ 9A และ 9B) โดยเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 21 พบว่าการเก็บรักษาสับปะรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ความสามารถต้านออกซิเดชันลดลง (ร้อยละ) น้อยกว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% และสภาพบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 10



**ภาพที่ 9** ความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH (A) และ ORAC (B) ในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

**ตารางที่ 10** ร้อยละการลดลงของความสามารถด้านออกซิเดชัน DPPH และ ORAC ในสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดสด

สภาพบรรยากาศ	การลดลงของความสามารถด้านออกซิเดชัน (ร้อยละ)	
	DPPH	ORAC
O <sub>2</sub> 2% + CO <sub>2</sub> 5%	34.79 <sup>c</sup>	18.22 <sup>b</sup>
O <sub>2</sub> 2% + CO <sub>2</sub> 10%	49.04 <sup>b</sup>	22.34 <sup>b</sup>
O <sub>2</sub> 5% + CO <sub>2</sub> 5%	27.50 <sup>d</sup>	12.70 <sup>c</sup>
O <sub>2</sub> 5% + CO <sub>2</sub> 10%	25.69 <sup>d</sup>	10.44 <sup>c</sup>
บรรยากาศปกติ	86.72 <sup>a</sup>	42.06 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ** ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าสภาพบรรยากาศควบคุมช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสับปะรดได้ เนื่องจากในสภาพบรรยากาศควบคุมมีปริมาณออกซิเจนต่ำซึ่งจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต้านออกซิเดชัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Niranjana *et al.* (2009) ซึ่งรายงานว่ มะม่วงพันธุ์ Alphonso ที่เก็บรักษาภายใต้ควบคุมสภาพบรรยากาศที่สภาวะ O<sub>2</sub> 5% + CO<sub>2</sub> 5% ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน มีความสามารถต้านออกซิเดชันสูงกว่าการเก็บในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ Kim *et al.* (2007) รายงานว่า การเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาพควบคุมบรรยากาศที่ O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 10% ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์สามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงและช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี ORAC ได้ดีกว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงในในสภาพบรรยากาศปกติตลอดอายุการเก็บรักษา

ผลจากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันดังกล่าวข้างต้น สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ทั้งนี้เนื่องมาจากวิตามินซีมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งจากการศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกใน

น้ำผลไม้ โดย Gardner *et al.* (2000) พบว่า กรดแอสคอร์บิกในน้ำสับประรด มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิกในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำผัก นอกจากนี้ กรดแอสคอร์บิกในเนื้อสับประรดก็มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีเช่นกัน (Leong and Shui, 2002; Sun *et al.*, 2002 and Szeto *et al.*, 2002)

การศึกษาผลของการเก็บรักษาสับประรดในสภาพควบคุมบรรยากาศที่สภาวะ  $O_2$  2% +  $CO_2$  5%,  $O_2$  2% +  $CO_2$  10%,  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชัน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ ORAC สามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศ ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของน้ำสับประรดได้ดีกว่าการเก็บในสภาพบรรยากาศปกติ และที่สภาพควบคุมบรรยากาศที่  $O_2$  5% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  5% +  $CO_2$  10% ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาสับประรด ซึ่งจะชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันได้ดีกว่าสภาพบรรยากาศควบคุมที่  $O_2$  2% +  $CO_2$  5% และ  $O_2$  2% +  $CO_2$  10% ที่อุณหภูมิเดียวกัน

### 3. ผลของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและการใช้ความร้อนต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี ความสามารถต้านออกซิเดชัน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำสับประรด

#### 3.1 ผลของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับประรด

การวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดที่ได้จากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันทำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประรดสด และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของน้ำสับประรดที่คัดเลือกได้จากผลการทดลองข้อ 1 จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone, ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, methyl 3-(methylthio) propanoate, methyl hexanoate, ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate

เมื่อนำน้ำสับประรดสดมาผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันซึ่งใช้เมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง (hollow fiber) มี MWCO 100,000 ที่กำหนดให้ได้ส่วนของเพอมีเอทเป็นร้อยละ 85 ส่วนที่เหลือเป็นของรีเทนเททร้อยละ 15 แล้วทำการวิเคราะห์สารระเหยทั้งในส่วนของเพอมีเอทและ

รีเทนเทท พบว่า สารระเหยสำคัญที่พบในเพอมีเอทมีสารเดียว คือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ขณะที่สารระเหยสำคัญส่วนใหญ่ถูกกักอยู่ในส่วนของรีเทนเททถึงร้อยละ 75 ส่วนสารให้กลิ่นสำคัญที่ตรวจไม่พบทั้งในเพอมีเอทและรีเทนเทท คือ ethyl 2-methylpropanoate (ตารางที่ 11) ซึ่งอาจสูญเสียไประหว่างกระบวนการผลิตหรืออาจติดค้างอยู่ตามส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์อัลตราฟิลเตรชันเนื่องจากมีปริมาณน้อย ส่วนสาเหตุที่สารระเหยให้กลิ่นสำคัญไม่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณลักษณะของสารซึ่งเป็นองค์ประกอบหรืออนุภาคแขวนลอยของน้ำ สัมผัสทำให้เกิดการอุดตัน หรือฟาวลิง (fouling) อีกทั้งคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ของเมมเบรนชนิดเส้นใยกลางที่ใช้ในการทดลองนี้ ที่จะส่งเสริมทำให้เกิดฟาวลิง เนื่องจากอนุภาคแขวนลอยที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอาจจะถูกดูดซับด้วยเมมเบรนได้ง่าย (Zeman and Zydney, 1996; Baker, 2004) ส่งผลทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และความสามารถในการแยกสารเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการกักของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญสอดคล้องกับผลของค่าเพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำสัมผัสที่ลดลง (ภาพผนวกที่ ก12) และการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในส่วนของเพอมีเอทซึ่งมีค่า 11.2 องศาบริกซ์ ขณะที่น้ำสัมผัสสด และส่วนของรีเทนเททมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12 และ 12.4 องศาบริกซ์

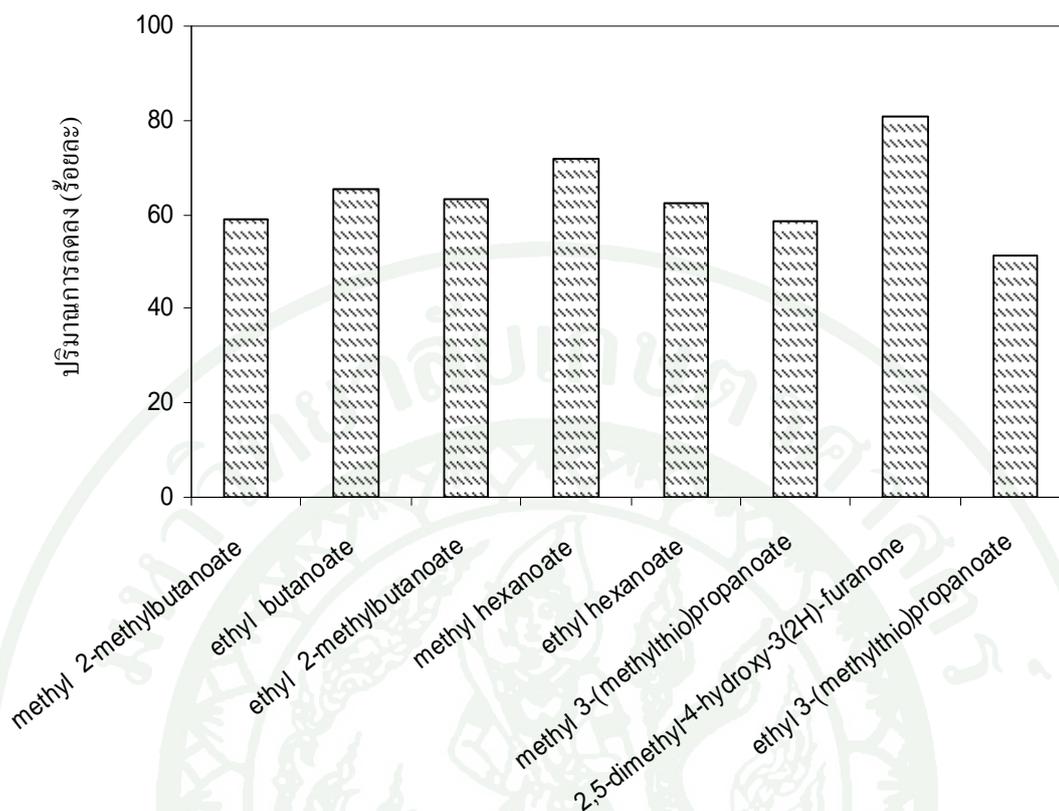
ผลการทดลองที่พบสารระเหยให้กลิ่นสำคัญส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในส่วนของรีเทนเทท สอดคล้องกับ Yu *et al.* (1986) ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการกักสารประกอบในน้ำเสาวรสโดยใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งใช้เมมเบรนชนิดท่อ (tubular) มี MWCO 25,000 พบว่า เมมเบรนชนิดนี้สามารถกักสารประกอบสำคัญของกลิ่นหอมเฉพาะตัวในน้ำเสาวรสได้ถึงร้อยละ 80 ซึ่งเมื่อพิจารณาขนาดโมเลกุลของสารระเหยในน้ำเสาวรสดังกล่าวนั้นสามารถผ่านเมมเบรนได้ แต่ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นโมเลกุลของสารซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำเสาวรสจะก่อให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าเมมเบรน ทำให้เมมเบรนสามารถกักโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ไว้ได้ สารประกอบของกลิ่นหอมระเหยที่เมมเบรนชนิดดังกล่าวสามารถกักไว้ได้ เช่น  $\beta$ -ionone, ethyl hexanoate, hexyl butyrate และ hexyl hexanoate

จากผลการศึกษา พบว่ามีเพียงสารเดียวคือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ที่พบในส่วนของเพอมีเอททั้งนี้อาจเป็นเพราะ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone มีปริมาณมากกว่าสารระเหยให้กลิ่นสำคัญอื่นๆ เกือบ 10 เท่า จึงมีโอกาสที่จะผ่านเมมเบรนไปอยู่ในส่วนของเพอมีเอทได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม สารระเหยให้กลิ่นสำคัญส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในส่วนของ

รีเทนเททในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งการนำส่วนของรีเทนเททมาให้ความร้อนแล้วเติมกลับในส่วนของเพอมีเอท น่าจะทำให้ได้น้ำสับปะรดผสมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพและมีกลิ่นรสใกล้เคียงกับน้ำสับปะรดสดมากขึ้น

### 3.2 การเปลี่ยนแปลงสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับปะรดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และสารระเหยในน้ำสับปะรดที่ผ่านการผลิตโดยใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ด้วยเครื่องผลิตอาหารเหลวพร้อมดื่มระบบพาสเจอร์ไรส์และยูเอชที ที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที พบว่า ในการผลิตน้ำสับปะรดโดยใช้ความร้อนทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงขึ้นเล็กน้อยซึ่งมีค่า 12.2 องศาบริกซ์ และทำให้สารระเหยให้กลิ่นสำคัญลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสับปะรดสด ( $p \leq 0.05$ ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสำคัญที่ให้กลิ่นสับปะรด 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ลดลงถึงร้อยละ 81 (ภาพที่ 10) ส่วนสารระเหยให้กลิ่นสำคัญที่ตรวจไม่พบหลังจากผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าว คือ ethyl 2-methylpropanoate (ตารางที่ 11) นอกจากนี้ยังพบสารบางชนิดที่เกิดขึ้นหลังจากการให้ความร้อน คือ 3-ethoxypyrazole (ภาพผนวกที่ ก8) ผลการทดลองดังกล่าวต่างจากงานวิจัยของ Elss *et al.* (2005) ซึ่งรายงานว่า สารที่เกิดจากการให้ความร้อนของน้ำสับปะรดพร้อมบริโภคนั้นมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ได้แก่ furfural, 3-hydroxy-(2H)-pyran-2-one, pantolactone และ 5-(hydroxymethyl) furfural



ภาพที่ 10 การลดลง (ร้อยละ) ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของน้ำสับประดพาสเจอร์ไรส์

### 3.3 สารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับประดผสมจากส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททพาสเจอร์ไรส์

ในการผลิตน้ำสับประดโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ส่วนที่ต้องการนำไปใช้คือ ส่วนของเพอมีเอท แต่น้ำสับประดในส่วนนี้ค่อนข้างใสมีคุณลักษณะทางกายภาพไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งในการศึกษาสารระเหยในน้ำสับประดที่ได้ผลิตได้จากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน พบสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในส่วนเพอมีเอทเพียงชนิดเดียว ดังนั้น เพื่อให้ได้น้ำสับประดที่คุณลักษณะทางกายภาพและกลิ่นรสใกล้เคียงกับน้ำสับประดสด จึงทดลองโดยผสมส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททพาสเจอร์ไรส์ในสัดส่วนที่เท่ากับการกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันคือ 85:15 ตามลำดับ

เมื่อผสมส่วนเพอมีเอทและรีเทนเททพาสเจอร์ไรส์กลับในอัตราส่วน 85:15 ตามลำดับ จากนั้นจึงวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และวิเคราะห์สารระเหยในน้ำสับประคผสม เปรียบเทียบ ผลกับน้ำสับประคสดและน้ำสับประคพาสเจอร์ไรส์ พบว่าน้ำสับประคผสมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับน้ำสับประคคือ  $12 \pm 1$  องศาบริกซ์ ส่วนสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับประคผสมมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ลดลงจากน้ำสับประคสด แต่น้ำสับประคผสมมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญมากกว่าน้ำสับประคพาสเจอร์ไรส์อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 11

ในงานวิจัยของ Yu and Chiang (1986) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสาวรสโดยใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการให้ความร้อน ในขั้นแรกเป็นการเตรียมน้ำเสาวรส โดยเติมเอนไซม์เพคตินเอสเพื่อกำจัดเพคติน นำไปแยกสตาร์ชออกโดยการแยกเหวี่ยง (centrifuge) จากนั้นผ่านกระบวนการพลาสมาเจโรไลส์ ขั้นที่สองได้นำน้ำเสาวรสที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมแล้วมาเพิ่มความเข้มข้นโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ใช้เมมเบรนสังเคราะห์แบบท่อที่มี MWCO 25,000 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้สารระเหยที่มีจุดเดือดต่ำในน้ำเสาวรสระเหยไป ขั้นสุดท้ายเป็นการนำเพอมีเอทของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นนำรีเทนเทท (ประมาณ 20 องศาบริกซ์) รวมกับเพอมีเอทที่ให้ความร้อน (70 องศาบริกซ์) จะได้น้ำเสาวรสเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ และเมื่อทดลองเจือจางน้ำเสาวรสเข้มข้นที่ได้ด้วยน้ำกลั่น พบว่า มีปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ และคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำเสาวรสด ผู้วิจัยสรุปว่า สามารถที่จะใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันช่วยในการเพิ่มความเข้มข้นร่วมกับการให้ความร้อนน้ำเสาวรส โดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันจะช่วยแยกสารโมเลกุลใหญ่ออกจากน้ำเสาวรส ซึ่งทำให้อัตราเร็วของการระเหยสูงขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนสูง อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสของน้ำเสาวรสได้

ตารางที่ 11 ชนิด และความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำสับประคต น้ำสับประคตในส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัดตราฟิลเตรชัน น้ำสับประคตพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประคตผสม

ที่ <sup>a</sup>	สารระเหย	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (ng/ml)				
		น้ำสับประคต	น้ำสับประคตจากอัดตราฟิลเตรชัน		น้ำสับประคตพาสเจอร์ไรส์	น้ำสับประคตผสม
			เพอมีเอท	รีเทนเทท		
4	ethyl 2-methylpropanoate	13.01	-	-	-	-
5	methyl 2-methylbutanoate	47.86 <sup>B</sup>	-	191.33 <sup>A</sup>	19.68 <sup>D</sup>	27.95 <sup>C</sup>
7	ethyl butanoate	331.33 <sup>B</sup>	-	1,325.32 <sup>A</sup>	114.56 <sup>D</sup>	189.62 <sup>C</sup>
8	ethyl 2-methylbutanoate	169.59 <sup>B</sup>	-	676.42 <sup>A</sup>	62.38 <sup>D</sup>	100.15 <sup>C</sup>
11	methyl hexanoate	187.54 <sup>B</sup>	-	750.16 <sup>A</sup>	53.23 <sup>D</sup>	106.90 <sup>C</sup>
14	ethyl hexanoate	210.41 <sup>B</sup>	-	862.68 <sup>A</sup>	79.05 <sup>D</sup>	124.42 <sup>C</sup>
15	methyl 3-(methylthio)propanoate	386.69 <sup>B</sup>	-	1,585.43 <sup>A</sup>	160.84 <sup>D</sup>	200.57 <sup>C</sup>
19	2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone	1,747.24 <sup>B</sup>	823.46 <sup>D</sup>	6,932.53 <sup>A</sup>	336.04 <sup>E</sup>	1,219.88 <sup>C</sup>
20	ethyl 3-(methylthio)propanoate	232.38 <sup>B</sup>	-	929.85 <sup>A</sup>	112.78 <sup>D</sup>	139.39 <sup>C</sup>

หมายเหตุ<sup>a</sup> ลำดับที่ของสารตรงกับโครมาโทแกรม ในภาพผนวกที่ ก1-ก2

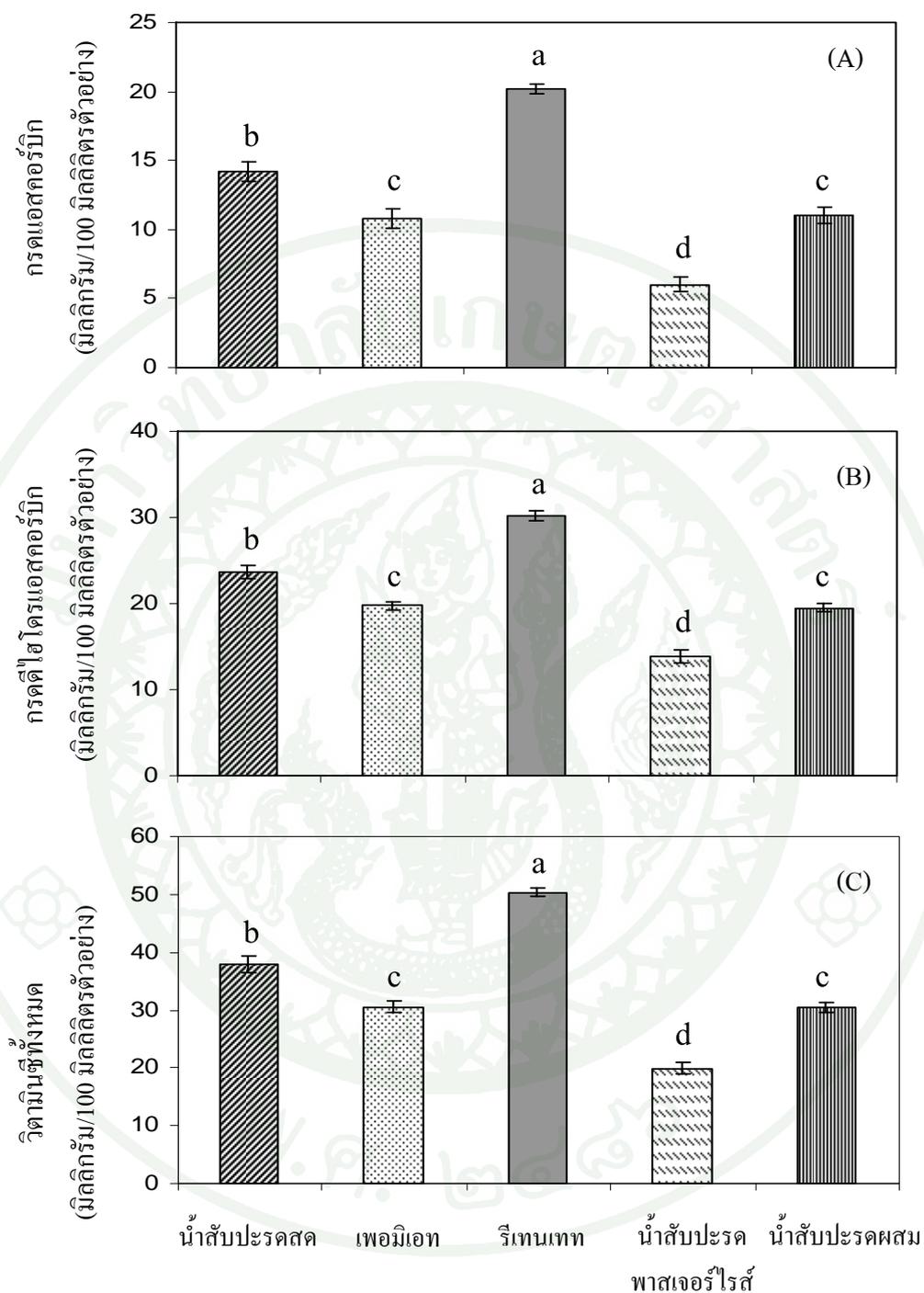
ตัวอักษร A-E ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

- หมายถึง ไม่พบสารชนิดนั้น

### 3.4 ผลของกระบวนการอัลตราฟิเลเตรชันและการใช้ความร้อนต่อปริมาณวิตามินซีของน้ำ สับประรด

จากการศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของน้ำสับประรดสด ส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททที่ได้จากกระบวนการอัลตราฟิเลเตรชัน น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประรดผสม พบว่า ในทุกตัวอย่างมีปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกสูงกว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ภาพที่ 11A และ 11B) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกในระหว่างขั้นตอนการเตรียมน้ำสับประรดจนถึงขั้นตอนการแปรรูปต่างๆ ก่อนทำการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตาม กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกยังคงมีคุณสมบัติที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้เช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก (จินตนา, 2543; Hernández *et al.*, 2006) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละตัวอย่างพบว่าส่วนรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิเลเตรชันมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดสูงกว่าทั้งตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากผลการทดลองในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่า วิตามินซีถูกกักไว้ในส่วนของรีเทนเทท ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับผลของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญที่ถูกกักไว้ในส่วนของรีเทนเทท รวมทั้งสอดคล้องกับการลดลงของค่าฟลักซ์และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อย่งไรก็ตาม วิตามินซีซึ่งมีขนาดโมเลกุลค่อนข้างเล็กและสามารถละลายน้ำได้ จึงมีบางส่วนเคลื่อนผ่านเมมเบรน ซึ่งตรวจพบได้ส่วนของเพอมีเอท โดยที่ส่วนของเพอมีเอทมีปริมาณวิตามินซีทั้งหมดลดลงจากน้ำสับประรดสดร้อยละ 19.33 (ภาพที่ 11A, 11B และ 11C)

สำหรับน้ำสับประรดผสมพบว่า มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดไม่แตกต่างกับส่วนเพอมีเอทของกระบวนการอัลตราฟิเลเตรชัน ( $p > 0.05$ ) แม้ว่าจะมีการให้ความร้อนแก่ส่วนของรีเทนเททก่อนนำมาผสมกลับและทำให้วิตามินซีซึ่งสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนมีปริมาณลดลง แต่น้ำสับประรดผสมยังคงปริมาณกรดแอสคอร์บิกมากกว่าน้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ เนื่องจากวิตามินซีส่วนใหญ่ถูกกักอยู่ในส่วนของรีเทนเททรวมทั้งมีการผสมกับส่วนของเพอมีเอทซึ่งมีปริมาณวิตามินซีลดลงจากน้ำสับประรดสดร้อยละเพียง 19.33 ในอัตราส่วน 85:15 ตามลำดับ จึงทำให้น้ำสับประรดผสมยังคงมีปริมาณวิตามินซีทั้งหมดใกล้เคียงกับส่วนเพอมีเอทและมีปริมาณวิตามินซีทั้งหมดลดลงจากจากน้ำสับประรดสดร้อยละ 19.44



ภาพที่ 11 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A) ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (B) ปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (C) ของน้ำสับประคสด ส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประคพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประคผสม

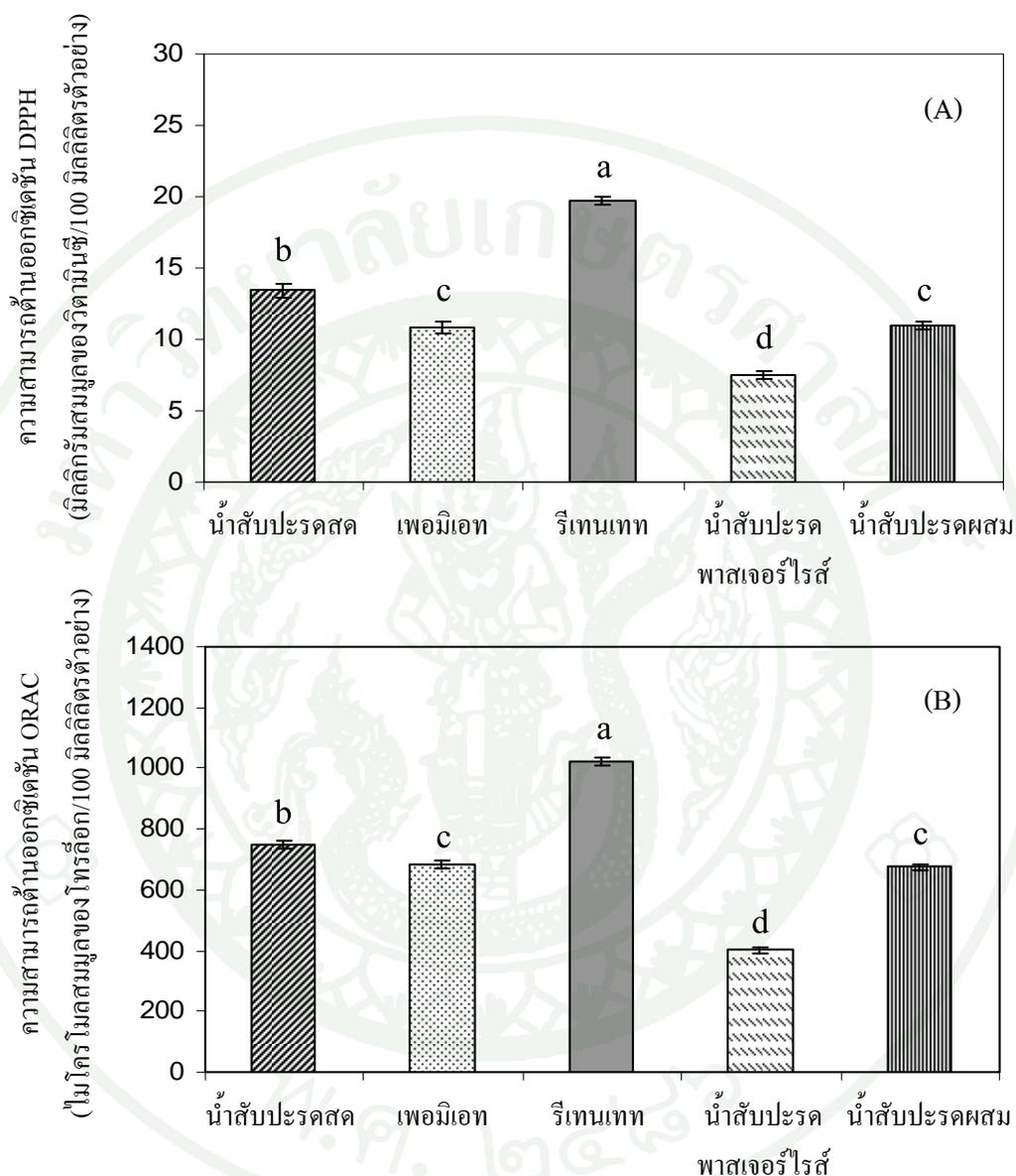
ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และ ปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในน้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ พบว่าเมื่อน้ำสับประรดผ่านการให้ความร้อน ในระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที ปริมาณวิตามินซีทั้งหมดลดลง จากน้ำสับประรดสดร้อยละ 47.43 ในผลการศึกษาที่มีแนวโน้มเดียวกับกับงานวิจัยอื่นๆ ที่มีการใช้ ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันในการผลิตน้ำสับประรด งานวิจัยของ Akinyele *et al.* (1990) รายงานว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 99 องศาเซลเซียส เวลา 17 นาที แก่น้ำสับประรดคั้น สด ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงร้อยละ 99 และ Uckiah *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ในการผลิตน้ำสับประรดพันธุ์ Queen Victoria พบว่าการใช้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงร้อยละ 65

จากผลการศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และ ปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของน้ำสับประรดสด ส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททที่ได้จาก กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประรดผสม สามารถสรุปได้ กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนสูง จึงช่วยลดการสูญเสียของ วิตามินซีได้

### 3.5 ผลของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและการใช้ความร้อนต่อความสามารถด้าน ออกซิเดชันของน้ำสับประรด

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำสับประรดสด ส่วนของเพอมี เอทและรีเทนเททที่ได้จากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำ สับประรดผสม ด้วยวิธี DPPH และ ORAC แสดงดังภาพที่ 12A และ 12B ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การวิเคราะห์ความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ORAC ให้ผลที่มีแนวโน้ม เดียวกัน คือ ส่วนของรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมีความสามารถด้านออกซิเดชัน สูงกว่าทั้งตัวอย่างสดและตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่ส่วนของเพอมีเอทมี ปริมาณวิตามินซีทั้งหมดลดลงจากน้ำสับประรดสดร้อยละ 19.41 และ 8.48 ส่วนน้ำสับประรดผสมมี ทั้งหมดไม่แตกต่างกับส่วนของเพอมีเอท ( $p > 0.05$ ) มีปริมาณวิตามินซีทั้งหมดลดลงจากน้ำสับประรด สตรี้อยละ 18.29 และ 9.92 เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ ORAC ตามลำดับ สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Cassano *et al.* (2007) ซึ่งได้ศึกษาการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในการผลิตน้ำกี วิ และตรวจวิเคราะห์ความสามารถด้านออกซิเดชันในส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททเปรียบเทียบกับน้ำกีวีสด ด้วยวิธี ABTS ซึ่งมีหลักการวัดความสามารถด้านออกซิเดชันและนิยมใช้วัดในน้ำผัก

และน้ำผลไม้ เช่นเดียวกับวิธี DPPH พบว่า ส่วนเพอมีเอทมีความสามารถต้านออกซิเดชันลดลงจากตัวอย่างสดเพียงร้อยละ 8

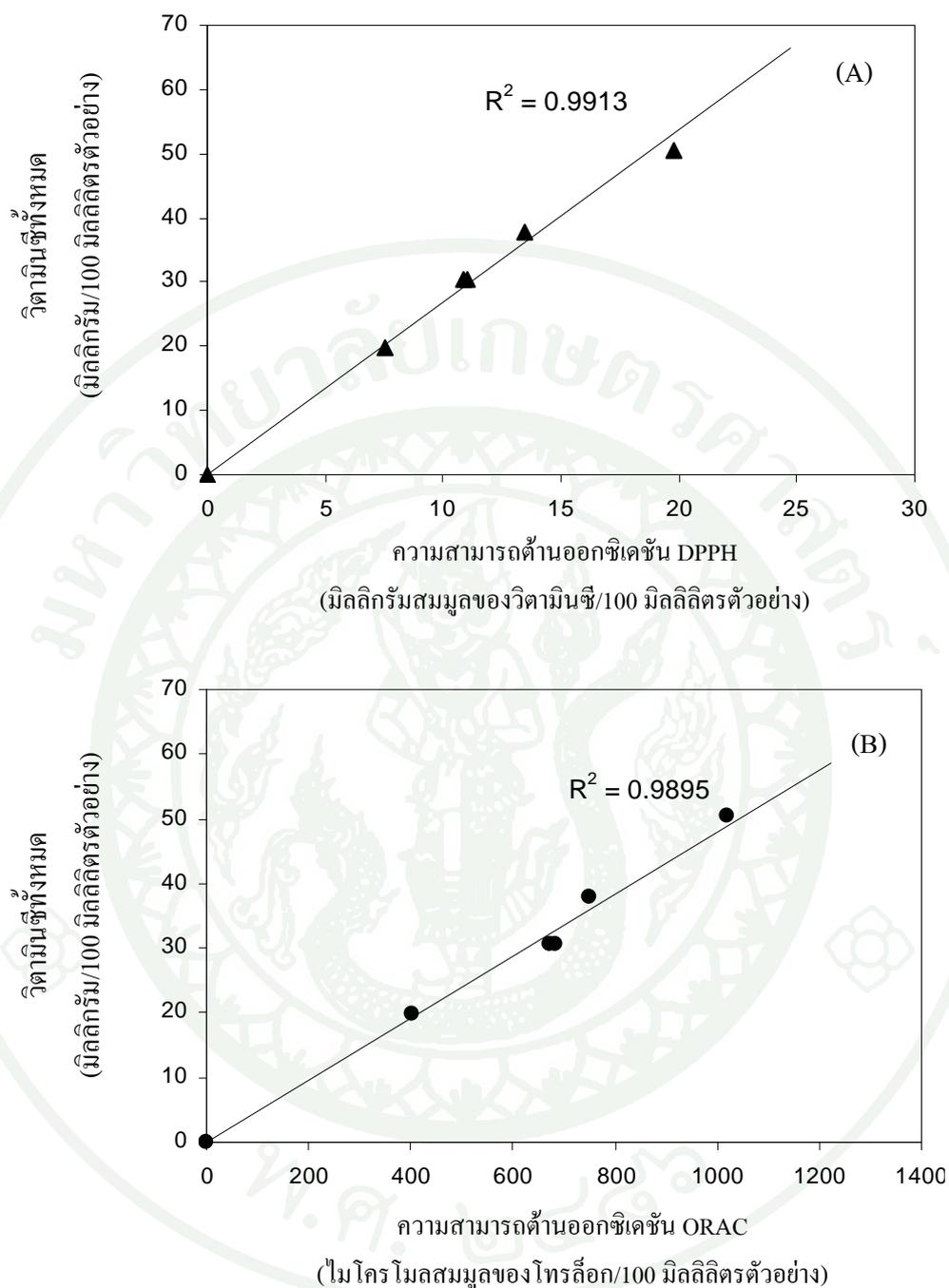


ภาพที่ 12 ความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH (A) และ ORAC (B) ของน้ำสับประรดสด ส่วนของ เพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประรดผสม

การพาสเจอร์ไร้น้ำสับประรด ที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที มีผลทำให้ความสามารถต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH ลดลงร้อยละ 44 ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Scalzo *et al.* (2004) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการพาสเจอร์ไร้น้ำส้มเลือด (blood orange) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ต่อความสามารถต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH และรายงานผลเป็นร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า การพาสเจอร์ไรส์ที่สภาวะดังกล่าว มีผลทำให้ความสามารถต้านออกซิเดชันของน้ำส้มเลือดลดลง ซึ่งพิจารณาจากร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่ลดลงจากน้ำส้มคั้นสดซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.1 เป็น 42.9 หลังจากการพาสเจอร์ไรส์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Elez-Martínez and Martín-Belloso (2007) ซึ่งรายงานว่า การใช้ความร้อนในการผลิตน้ำส้ม ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ทำให้ความสามารถต้านออกซิเดชันลดลงของน้ำส้ม โดยมีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงจากตัวอย่างสดซึ่งมีค่าเท่ากับ 39.3 เหลือ 35.4

สำหรับผลจากการวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ORAC ในน้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ พบว่าเมื่อน้ำสับประรดผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที ความสามารถต้านออกซิเดชันลดลงร้อยละ 46 สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Talcott *et al.* (2003) ซึ่งรายงานว่าในการผลิตน้ำเสาวรสดโดยการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ทำให้ความสามารถต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี ORAC ลดลงจากน้ำเสาวรสดร้อยละ 14

ผลจากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำสับประรดสด ส่วนของเพอซิเอทและรีเทนเททที่ได้จากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประรดผสมด้วยวิธี DPPH และ ORAC มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ซึ่งพิจารณาได้จากค่าสหสัมพันธ์วิธี DPPH และ ORAC มีค่าสหสัมพันธ์สูงเท่ากับ 0.9913 และ 0.9895 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 13A และ 13B แสดงให้เห็นว่าปริมาณวิตามินซีมีความสัมพันธ์ต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ทั้งนี้เนื่องมาจากวิตามินซีมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่รายงานว่ากรดแอสคอร์บิกทั้งในน้ำและเนื้อสับประรด มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Gardner *et al.*, 2000; Leong and Shui, 2002; Sun *et al.*, 2002; Szeto *et al.*, 2002)



ภาพที่ 13 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างปริมาณวิตามินซีและความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH (A) และ ORAC (B)

### 3.6 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำสับประรดสด น้ำสับประรดที่ได้จากการผลิตด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและการใช้ความร้อน

การทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (Difference from control) จากการทดลองให้ผู้ทดสอบทั่วไป 40 คน (นิสิตปริญญาโทและเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) ดมและชิมตัวอย่างเพื่อบอกความแตกต่างโดยรวมทั้งหมดทางด้านกลิ่นและรสชาติ ตัวอย่างต่างๆ ประกอบด้วยน้ำสับประรดสด ส่วนเพมิเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประรดผสม เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยตัวอย่างควบคุมคือ น้ำสับประรดสด

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่า กลิ่นและรสชาติโดยรวมของทุกตัวอย่างมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยส่วนเพมิเอทมีกลิ่นอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุมค่อนข้างมาก (-3.82) น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์มีกลิ่นอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุม (-2.68) น้ำสับประรดผสมมีกลิ่นอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย (-1.05) ขณะที่ส่วนรีเทนเททมีกลิ่นแรงกว่าตัวอย่างควบคุม (+2.37) ส่วนรสชาติโดยรวมมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลของความแตกต่างของกลิ่น คือ ส่วนเพมิเอทมีรสชาติอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุมค่อนข้างมาก (-3.67) น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์มีรสชาติอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุม (-2.52) น้ำสับประรดผสมมีรสชาติอ่อนกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย (-1.85) และส่วนรีเทนเททมีรสชาติเข้มกว่าตัวอย่างควบคุม (+2.41) (ตารางที่ 12)

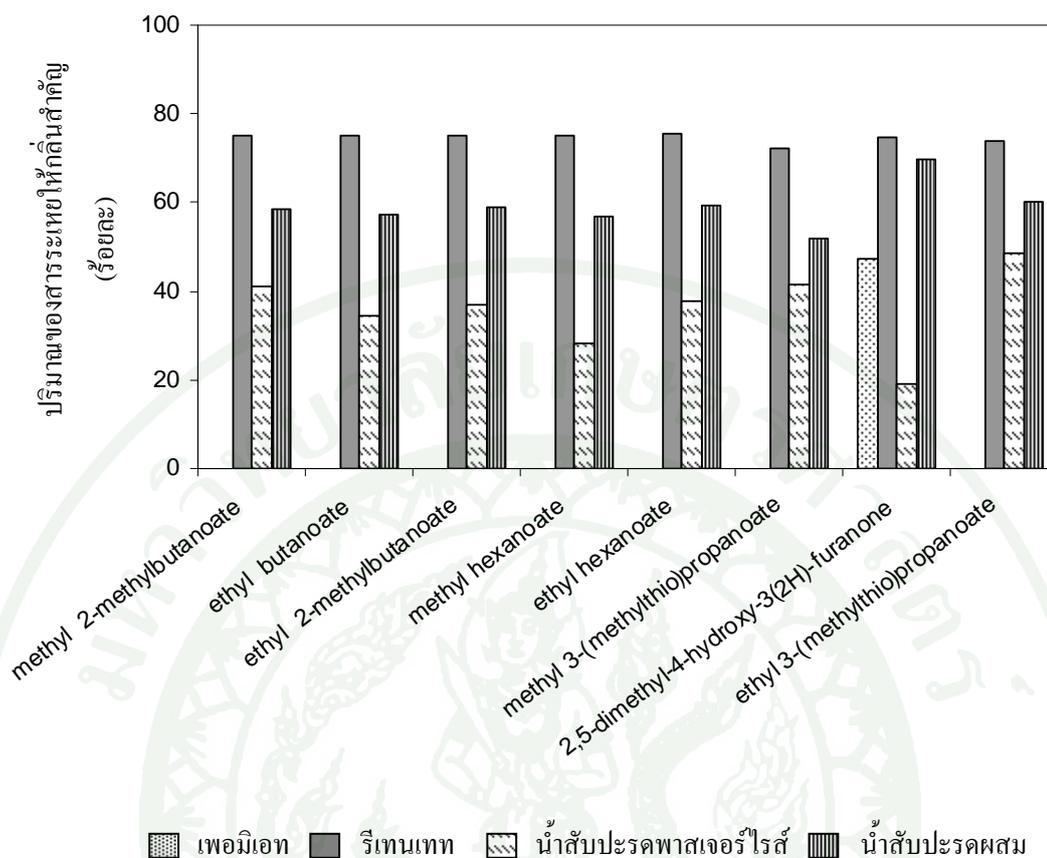
ผลจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสนี้สอดคล้องกับปริมาณของสารให้กลิ่นสำคัญที่พบในแต่ละตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ซึ่งพบว่าส่วนของเพมิเอทพบสารให้กลิ่นสำคัญเพียงชนิดเดียวคือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone และมีปริมาณเพียงร้อยละ 47 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสับประรดสด จึงทำให้น้ำสับประรดในส่วนนี้มีกลิ่นและรสชาติอ่อนกว่าน้ำสับประรดสดค่อนข้างมาก ส่วนน้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์ น้ำสับประรดผสม และส่วนของรีเทนเทท แม้จะพบสารระเหยให้กลิ่นสำคัญชนิดเดียวกัน ได้แก่ ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio) propanoate, methyl 3-(methylthio) propanoate, methyl hexanoate, ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate แต่มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารเหล่านี้แตกต่างกัน ทำให้ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสนั้นแตกต่างกันไปด้วย โดยน้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณของสารให้กลิ่นสำคัญร้อยละ 20-50 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสับประรดสด น้ำสับประรดพาสเจอร์ไรส์จึงมีกลิ่นและรสชาติโดยรวมอ่อนกว่าน้ำ

สับปรดสด และน้ำสับปรดผสมมีปริมาณของสารให้กลิ่นสำคัญร้อยละ 50-70 กลิ่นและรสชาติโดยรวมจึงอ่อนกว่าจากน้ำสับปรดสดเล็กน้อย ขณะที่ส่วนรีเทนเททมีปริมาณของสารให้กลิ่นสำคัญสูงกว่าน้ำสับปรดสดร้อยละ 72-76 ส่วนรีเทนเททจึงมีกลิ่นและรสชาติโดยรวมแรงกว่าน้ำสับปรดสด (ภาพที่ 14)

**ตารางที่ 12** คะแนนความแตกต่างทางด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมระหว่างส่วนเพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับปรดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับปรดผสมเปรียบเทียบกับน้ำสับปรดสด (ตัวอย่างควบคุม)

ตัวอย่าง	คะแนนความแตกต่าง	
	กลิ่น	รสชาติ
น้ำสับปรดส่วนเพอมีเอทกับตัวอย่างควบคุม	-3.82	-3.67
น้ำสับปรดส่วนรีเทนเททกับตัวอย่างควบคุม	+2.37	+2.41
น้ำสับปรดพาสเจอร์ไรส์กับตัวอย่างควบคุม	-2.68	-2.52
น้ำสับปรดผสมกับตัวอย่างควบคุม	-1.05	-1.85

หมายเหตุ ทุกตัวอย่างมีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



**ภาพที่ 14** การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ (ร้อยละ) ในน้ำส้มประดส่วน เพอมีเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำส้มประดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำส้มประดผสม เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มประดสด

จากผลการวิเคราะห์สารระเหย ปริมาณวิตามินซี ความสามารถต้านออกซิเดชัน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มประดสด ส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททที่ได้จากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำส้มประดพาสเจอร์ไรส์ และน้ำส้มประดผสม จะเห็นได้ว่าส่วนของรีเทนเททที่ได้จากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมีความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารให้กลิ่นสำคัญ ปริมาณวิตามินซี ความสามารถต้านออกซิเดชัน และกลิ่นรสโดยรวมสูงกว่าน้ำส้มประดและตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งการนำส่วนของรีเทนเททมาให้ความร้อนแล้วเติมกลับในส่วนของเพอมีเอทในสัดส่วนที่เท่ากับการกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันคือ 85:15 ทำให้ได้น้ำส้มประดผสมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพ กลิ่นรส วิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันใกล้เคียงกับน้ำส้มประดสด

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

1. สารระเหยให้กลิ่นหลักของน้ำสับประรดสด ที่มีคุณลักษณะกลิ่นสัมพันธ์กับกลิ่นสับประรด คือ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone สารที่ให้กลิ่นสัมพันธ์กับกลิ่นสับประรดรองลงมา ได้แก่ ethyl hexanoate, methyl 2-methylbutanoate, ethyl 3-(methylthio)propanoate, methyl hexanoate และ methyl 3-(methylthio)propanoate และสารสำคัญอื่นๆ ที่ให้กลิ่นผลไม้ ได้แก่ ethyl 2-methylbutanoate, ethyl butanoate และ ethyl 2-methylpropanoate
2. การเก็บรักษาสับประรดในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 และ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และ 10 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่นของน้ำสับประรด ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ ORAC ได้ดีกว่าการเก็บในสภาพบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการเก็บรักษาสับประรดในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 หรือ 10 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาสับประรด ซึ่งช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยให้กลิ่น ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชัน ได้ดีกว่าสภาพบรรยากาศควบคุมที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 หรือ 10 ที่อุณหภูมิเดียวกัน
3. กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันสามารถลดการสูญเสียสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ โดยพบสารสำคัญที่ให้กลิ่นสับประรด 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone เพียงสารเดียวในส่วนของเพอมีเอท ส่วนสารให้กลิ่นสำคัญอื่นๆ ยังคงอยู่ในส่วนของรีเทนเทท ขณะที่การพาสเจอร์ไรส์ทำให้สารให้กลิ่นสำคัญทั้งหมดมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสำคัญ 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone ลดลงถึงร้อยละ 81 และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันยังช่วยลดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีและความสามารถต้านออกซิเดชันได้ โดยน้ำสับประรดผสมซึ่งได้จากการผสมส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททพาสเจอร์ไรส์ในอัตราส่วน 85:15 มีคุณภาพทางด้านกลิ่นรสและวิตามินซีใกล้เคียงกับน้ำสับประรดสด

### ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาผลของเก็บรักษาสับประรดภายใต้สภาพบรรยากาศควบคุมที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ กันต่อสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ ควรทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นรสของสับประรดควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ด้วย GC-MS เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องมือและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ในการผลิตน้ำสับประรดโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ส่วนที่ต้องการนำไปใช้คือ ส่วนของเพอมีเอท แต่ในการทดลองพบสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในส่วนเพอมีเอทเพียงชนิดเดียว โดยสารสำคัญส่วนใหญ่ถูกกักไว้ในส่วนของรีเทนเทท เนื่องจากเกิดการสะสมของโมเลกุลของสาร ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำสับประรดและก่อให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรนที่ใช้ในการกรอง ดังนั้น จึงมีข้อเสนอแนะว่าควรจะมีการกรองหรือเติมเอนไซม์ลงไปเพื่อทำให้น้ำสับประรดใสขึ้น ซึ่งส่งผลให้ไม่เกิดการอุดตันของเมมเบรนขณะทำการกรองและสารระเหยให้กลิ่นอาจจะผ่านเมมเบรนไปยังส่วนของเพอมีเอทได้มากขึ้น

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2536. รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ ฉบับที่ 51.  
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ
- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2542. สัปดาห์. วารสารสถาบันอาหาร 2 (9): 34-37.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. คุณภาพของผลสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ตภายใต้สภาพ  
บรรยากาศควบคุมโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์และผลของสารเคลือบผิวและสารป้องกันกำจัด  
เชื้อรา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- จารุพันธุ์ ทองแถม, มล. 2526. สัปดาห์และอุตสาหกรรมสับประรดในประเทศไทย.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จินตนา คำรงนุกูล. 2543. การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในน้ำผลไม้สำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิตูดา เกตุกราย และ นงนุช พรมลา. 2542. การผลิตน้ำสับประรดเข้มข้นโดยวิธีแช่เยือกแข็ง.  
รายงานโครงการวิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ต้องรัก บรรเทาทุกข์. 2545. ผลของสภาพบรรยากาศควบคุมและ Superatmospheric oxygen  
ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของสับประรดพันธุ์ตราดสีทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ประธาน โพธิสวัสดิ์. 2544. การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของ  
สับประรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ลูกผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมโภชน์ น้อยจินดา. 2538. รายงานการวิจัยเรื่องการเก็บรักษาผลสับประรดในบรรยากาศที่ควบคุม  
ได้. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ

สุกกาญจน์ พรหมจันทร์. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสซันจากสับประรด. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
โท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อ้อมอรุณ นุกุลธรประกิต. 2543. การเก็บรักษาสับประรดพันธุ์ภูเก็ตภายใต้สภาพบรรยากาศ  
ควบคุม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญชะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2549. สารต้าน  
อนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์พี. เอส. พรินท์, นนทบุรี.

Acree, T. and H. Arn. 2009. **Flavornet and Human Odor Space**. Available source:  
[www.flavornet.org/flavornet.html](http://www.flavornet.org/flavornet.html). Cornell University: Geneva, New York.

Adb Shukor, A.R., A. Faridah, H. Abdullah and Y.K. Chan. 1998. Pineapple, pp. 137-190.  
*In* P.P. Shaw, H.T. Jr. Chan and S. Nagy, eds. **Tropical and Subtropical Fruits**.  
Agscience, Inc., Florida.

Aguilar-Rosas, S.F., M.L. Ballinas-Carsarrubias, G.V. Nevarez-Moorillon, O. Martin-Bellosob  
and E. Ortega-Rivas. 2007. Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple  
juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. **J. Food Eng.** 83:  
41-46.

Akinyele, I.O., O.O. Keshinro and O.O. Ahinnawo. 1990. Nutrient losses during and after  
processing of pineapple and oranges. **Food Chem.** 37: 181-188.

Baker, R.W. 2004. **Membrane technology and applications**. Wiley, Hoboken, N.J.

Bartholomew, D.P., R.E. Paull and K.G. Rohrbach. 2003. **The pineapple botany, production and uses**. CAB International, New York.

Beaudry, R.M. 1999. Effect of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. **Postharvest Biol. Technol.** 15: 293-303.

Berger, R.G., F. Drawert and S. Nitz. 1983. Sesquiterpene hydrocarbons in pineapple fruit. **J. Agric. Food Chem.** 31: 1237-1239.

\_\_\_\_\_, F. Drawert, H. Kollmannberger, S. Nitz and B. Schraufstetter. 1985. Novel volatiles in pineapple fruit and their sensory properties. **J. Agric. Food Chem.** 33: 232-235.

Buttery, R.G. and L.C. Ling. 1996. Direct formation of 4-alkoxy derivatives from 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone and aliphatic alcohols. **J. Agric. Food Chem.** 44: 1512-1514.

\_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1998. Additional studies of flavor components of corn tortilla chips. **J. Agric. Food Chem.** 46: 2764-2769.

\_\_\_\_\_, D.J. Stern and L.C. Ling. 1994. Studies on flavor volatiles of some sweet corn products. **J. Agric. Food Chem.** 42: 791-795.

\_\_\_\_\_, R.M. Seifert, D.G. Guadagni and L.C. Ling. 1971. Characterization of additional volatile components of tomato. **J. Agric. Food Chem.** 19: 524-529.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, L.C. Ling, E.L. Soderstrom, J.M. Ogawa and J.G. Turnbaugh. 1982. Additional aroma components of honeydew melon. **J. Agric. Food Chem.** 30: 1208-1211.

- Buettner, A. and P. Schieberle. 2001. Evaluation of aroma differences between hand-squeezed juices from Valencia late and navel oranges by quantitation of key odorants and flavor reconstitution experiments. **J. Agric. Food Chem.** 49: 2387-2394.
- Cassano, A., L. Donato and E. Drioli. 2007. Ultrafiltration of kiwifruit juice: Operating parameters, juice quality and membrane fouling. **J. Food Eng.** 79: 613-621.
- Colgan, R.J., C.J. Dover, D.S. Johnson and , K. Pearson. 1999. Delayed CA and oxygen at 1 kPa or less control superficial scald without CO<sub>2</sub> injury on bramley's seedling apples. **Postharvest Biol. Technol.** 16: 223-231
- de Carvalho, L.M.J., C.A.B. da Silva and A.P.T.R. Pierucci. 1998. Clarification of pineapple juice (*Ananas comosus* L. Merryl) by ultrafiltration and microfiltration: physicochemical evaluation of clarified juices, soft drink formulation and sensorial evaluation. **J. Agric. Food Chem.** 46: 2185-2189.
- Drake, S.R. and T.A. Eisele. 1999. Carbohydrate and acid contents of gala apples and bartlett pears from regular and controlled atmosphere storage. **J. Agric. Food Chem.** 33: 3181-3184.
- Duarte, I.F., I. Delgadillo, A.M. Gil. 2006. Study of natural mango juice spoilage and microbial contamination with *Penicillium expansum* by high resolution <sup>1</sup>H NMR spectroscopy. **Food Chem.** 96: 313-324.
- Dull, G.G. 1971. The pineapple: General, pp. 303-324. In A.C. Hulm, ed. **The Biochemistry of Fruits and Their Products, Vol II.** Academic Press, London.
- El-Mir, M., D. Gerasopoulos, I. Metzidakis and A.K. Kanellis. 2001. Hypoxic acclimation prevents avocado mesocarp injury caused by subsequent exposure to extreme low oxygen atmospheres. **Postharvest Biol. Technol.** 23: 215-226.

- Elez-Martínez, P. and O. Martín-Belloso. 2007. Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. **Food Chem.** 102: 201-209.
- Els, S., C. Preston, C. Hertzog, F. Heckel, E. Richling and P. Schreier. 2005. Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* [L.] Merr.) and pineapple products. **Lebensm-Wiss. U-Tech.** 38: 263-274.
- Engel, K.H., R.A. Flath, R.G. Buttery, T.R. Mon, D.W. Ramming and R. Teranishi. 1988. Investigation of volatile constituents in nectarines. 1. Analytical and sensory characterization of aroma components in some nectarine cultivars. **J. Agric. Food Chem.** 36: 549-553.
- Fenaroli, G. 1975. Fruital flavors, pp. 578-603. In E.T. Furia and N. Bellanca, eds. **Fenaroli's handbook of flavor ingredients**. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, Cleveland.
- Gardner, P.T., T.A.C. White, D.B. McPhail and G.G. Duthie. 2000. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. **Food Chem.** 68: 471-474.
- Gorny, J.R., B. Hess-Pierce, R.A. Cifuentes and A.A. Kader. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. **Postharvest Biol. Technol.** 24: 271-278.
- Haagen-Smit, A.J., J.G. Kirchner, A.N. Prater and C.L. Deasy. 1945. Chemical studies of pineapple (*Ananas sativus* Lindl). I. The volatile flavor and odor constituents of pineapple. **J. Amer. Chem. Soc.** 67: 1646-1652.
- Haffner, K., H.J. Rosenfeld, G. Skrede and L. Wang. 2002. Quality of red raspberry *Rubus Idaeus* L. cultivars after storage in controlled and normal atmospheres. **Postharvest Biol. Technol.** 24: 279-289.

- Hernandez, E., C.S. Chen, P.E. Shaw, R. D. Carter and S. Barros. 1992. Ultrafiltration of orange juice: Effect on soluble solids, suspended solids, and aroma. **J. Agric. Food Chem.** 40: 986-988.
- Hernández, Y., M. G. Lobo and M. González. 2006. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. **Food Chem.** 96: 654-664.
- Hodgson, A.S. and L.R. Hodgson. 1993. Pineapple juice, pp. 379-435. In S. Nagy, C.S. Chen and P.E. Shaw, eds. **Fruit Juice Processing Technology**. Agscience, Auburndale, Florida.
- Huang, D., B. Ou and R.L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **J. Agric. Food Chem.** 53: 1841-1856.
- Kader, A.A. 1993. Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruits, pp. 239-249. In B.R. Champ *et al.*, eds. **Postharvest handling of tropical fruits: proceedings of an international conference**, Chiang Mai, Thailand.
- \_\_\_\_\_, A.A. 1996. Recommendation for maintaining postharvest quality of pineapple. **Perishable Handling Newsletter.** 88: 19-20.
- \_\_\_\_\_, A.A. 2003. A summary of CA requirements and recommendation of fruit other than apples and pears. **Acta Hort.** 600: 737-740.
- Kataoka, H., H. L. Lord and J. Pawliszyn. 2000. Applications of solid-phase microextraction in food analysis. **J. Chromatogr. A.** 880: 35-62.
- Kermasha, S., N.N. Barthakur and I. Alli. 1987. Changes in chemical composition of the kew cultivar of pineapple fruit during development. **J. Sci. Food Agri.** 39: 317-324.

- Kim, Y., J.K. Brecht and S.T. Talcott. 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. **Food Chem.** 105: 1327-1334.
- Larrigaudiere, C., E. Pinto, I. Lenthéric and M. Vendrell. 2001. Involvement of oxidation processes in the development of core browning in controlled atmosphere stored pears. **J. Hort. Sci. Biotech.** 76: 157-162.
- Larsen, M. and C.B. Watkins. 1995. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. **Postharvest Biol. Technol.** 5: 39-50.
- Lavilla, T., J. Puy, M.L. López, I. Recasens and M. Vendrell. 1999. Relationships between volatile production, fruit quality, and sensory evaluation in Granny Smith apples stored in different controlled atmosphere treatments by means of multivariate analysis. **J. Agric. Food Chem.** 47: 3791-3803.
- Leffingwell and Associates. 2004. Flavor-Base 2004. Canton, GA, USA.
- Leong, L.P. and G. Shui. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. **Food Chem.** 76: 69-75.
- Madrid, M. and F. Lopez-Lee. 1998. Differences in ripening characteristics of controlled atmosphere or air-stored bananas. **Acta Hort.** 464: 357-362.
- Magalhaes, L.M., M.A. Marcela, S. Reis and J.L.F.C. Lima. 2008. Methodological aspects about *in vitro* evaluation of antioxidant properties. **Analitica Chimica Acta.** 613: 1-19.
- Mattheis, J.P., D.A. Buchanan and J.K. Fellman. 1997. Volatile constituents of Bing sweet cherry fruit following controlled atmosphere storage. **J. Agric. Food Chem.** 45: 212-216.

- Mehrlich, F.P. and G.E. Felton. 1980. Pineapple juice, pp. 180-211. *In* P.E. Nelson and D.K. Tressler, eds. **Fruit & Vegetable Juice Processing Technology**. 3rd ed., AVI Publishing Company, Connecticut.
- Niranjana, P, R.K.P. Gopalakrishna, R.D.V. Sudhakar and B. Madhusudhanl. 2009. Effect of controlled atmosphere storage (CAS) on antioxidant enzymes and DPPH-radical scavenging activity of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso. **Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.** 9: 779-792.
- Ottaway, P.B. 1993. Stability of vitamins in food, pp 90-113. *In* P.B. Ottaway, ed. **The Technology of Vitamins in Food**. Chapman & Hall, Cornwall, UK.
- Parliament, T.H. 1997. Solvent extraction and distillation techniques, pp. 1-26. *In* R. Marsili, ed. **Techniques for Analyzing Food Aroma**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- \_\_\_\_\_. 2002. Solvent extraction and distillation techniques, pp. 1-23. *In* R. Marsili, ed. **Flavor, Fragrance and Odor Analysis**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Paull, R. E. 1997. Pineapple, pp. 371 –388. *In* S. Mitra, ed. **Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical fruits**. CAB International, New York.
- \_\_\_\_\_, R.E. and K.G. Rohrbach. 1985. Symptom development of chilling injury in pineapple fruit. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 110: 100-105.
- Pesis, E., A. Dalia, A. Zion, R. Ben-Arie, A. Nehemia and Y. Fuchs. 2000. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 19: 93-101.
- Prange, R.K., J.M. DeLong, J.C. Leyte and P.A. Harrison. 2002. Oxygen concentration affects chlorophyll fluorescence in chlorophyll-containing fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 24: 201-205.

- Prior, R. L., H. Hoang, L. Gu, X. Wu, M. Bacchiocca, L. Howard, M. Hampsch-Woodill, D. Huang, B. Ou and R. Jacob. 2003. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORAC<sub>FL</sub>)) of plasma and other biological and food samples. **J. Agric. Food Chem.** 51: 3273-3279.
- \_\_\_\_\_, X. Wu and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplement. **J. Agric. Food Chem.** 53: 4290-4302.
- Rattanathanalerk, M., N. Chiewchan and W. Srichumpoung. 2005. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. **J. Food Eng.** 66: 259-265.
- Reineccius, G. 1994. **Source Book of Flavors.** 2nd ed. Chapman&Hall, New York.
- Rodin, J.O., C.M. Himel and R.M. Silverstein. 1965. Volatile flavor and aroma components of pineapple. I. Isolation and tentative identification of 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone. **J. Food Sci.** 30: 280-285.
- Rutledge, P. 2001. Production of Nonfermented Fruit Products, pp 85-110. *In* D. Arthey and P.R. Ashurst, eds. **Fruit Processing : Nutrition, Productions, and Quality Management.** 2nd ed., Aspen Publishers, Maryland.
- Ryall, A.R. and W.J. Lipton. 1974. **Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables.** AVI Publishing company, Inc., Westport Connecticut.
- Salunkhe, D.K. 1974. **Storage, processing and nutritional quality of fruits and vegetables.** CRC Press, Cleveland, Ohio.
- Sánchez-Moreno, C. 2002. Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological system. **Food Sci. Technol. Int.** 8: 121-137.

- Scalzo, R.L., T. Iannoccaria, C. Summaa, R. Morellib and P. Rapisardac. 2004. Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. **Food Chem.** 83: 41-47
- Schieberle, P. and T. Hofmann. 1997. Evaluation of the character impact odorants in fresh strawberry juice by quantitative measurements and sensory studies on model mixtures. **J. Agric. Food Chem.** 45: 227-232
- Sealand. 1991. **Shipping Guide to Perishable.** Sealand Service Inc., New Jersey, USA.
- Siegmund, B., K. Derler and W. Pfannhauser. 2001. Changes in aroma of a strawberry drink during storage. **J. Agric. Food Chem.** 49: 3244-3252.
- Singh, S.P. and R.K. Pal. 2008. Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 147: 296-306.
- Singh, R.P., K.N. Chidambara and G.K. Jayaprakasha. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro model. **J. Agric. Food Chem.** 50: 81-86.
- Spanier, A.B., M. Flores, C. James, J. Lasater, S. Lloyd and J.A. Miller. 1998. Fresh-cut pineapple (*Ananas* sp.) flavor. Effect of storage, pp. 331-343. In E.T. Contis, C.T. HO, C.J. Mussinan, T.H. Parliment, F. Shahidi and A.M. Spanier, eds. **Food flavors : formation, analysis and packaging influences.** Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Steinhaus, M. and P. Schieberle. 2000. Comparison of the most odor-active compounds in fresh and dried hop cones (*Humulus lupulus* L. variety spalter select) based on GC-Olfactometry and odor dilution techniques. **J. Agric. Food Chem.** 48: 1776-1783.
- Sun, J., Y.-F. Chu, X. Wu and R.H. Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. **J. Agric. Food Chem.** 50: 7449-7454.

- Szeto, Y.T., B. Tomlinson and I. F. F. Benzie. 2002. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: implications for dietary planning and food preservation. **Br. J. Nutr.** 87: 55-59.
- Takeoka, G.R., R.G. Buttery, R.A. Flath, R. Teranishi, E.L. Wheeler, R.L. Wieczorek and M. Guentert. 1989. Volatile constituents of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.). **ACS Symp. Ser.** 388: 223-237.
- \_\_\_\_\_, R.G. Buttery, R. Teranishi, R.A. Flath, R.L. and M. Güntert. 1991. Identification of additional pineapple volatiles. **J. Agric. Food Chem.** 39: 1848-1851.
- Talcott, S.T., S.S. Percival, J. Pittet-Moore and C. Celoria. 2003. Phytochemical composition and antioxidant stability of fortified yellow passion fruit (*Passiflora edulis*). **J. Agric. Food Chem.** 51: 935-941.
- Thomas, R.L., P.H. Westfall, Z.A. Louvieri and N.D. Ellis. 1986. Production of apple juice by single pass metallic membrane ultrafiltration. **J. Food Sci.** 51: 559-563.
- Tian, S., Y. Xu, A. Jiang and Q. Gong. 2002. Physiological and quality responses of longan fruit to high O<sub>2</sub> or high CO<sub>2</sub> atmospheres in storage. **Postharvest Biol. Technol.** 24: 335-340.
- Tokitomo, Y., M. Steinhaus, A. Buttner and P. Schieberle. 2005. Odor-active constituent in fresh pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) by quantitative and sensory evaluation. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 69: 1323-1330.
- Uckiah, A., D. Goburdhun and A. Ruggoo. 2009. Vitamin C content during processing and storage of pineapple. **Nutr. Food Sci.** 39: 398-412.

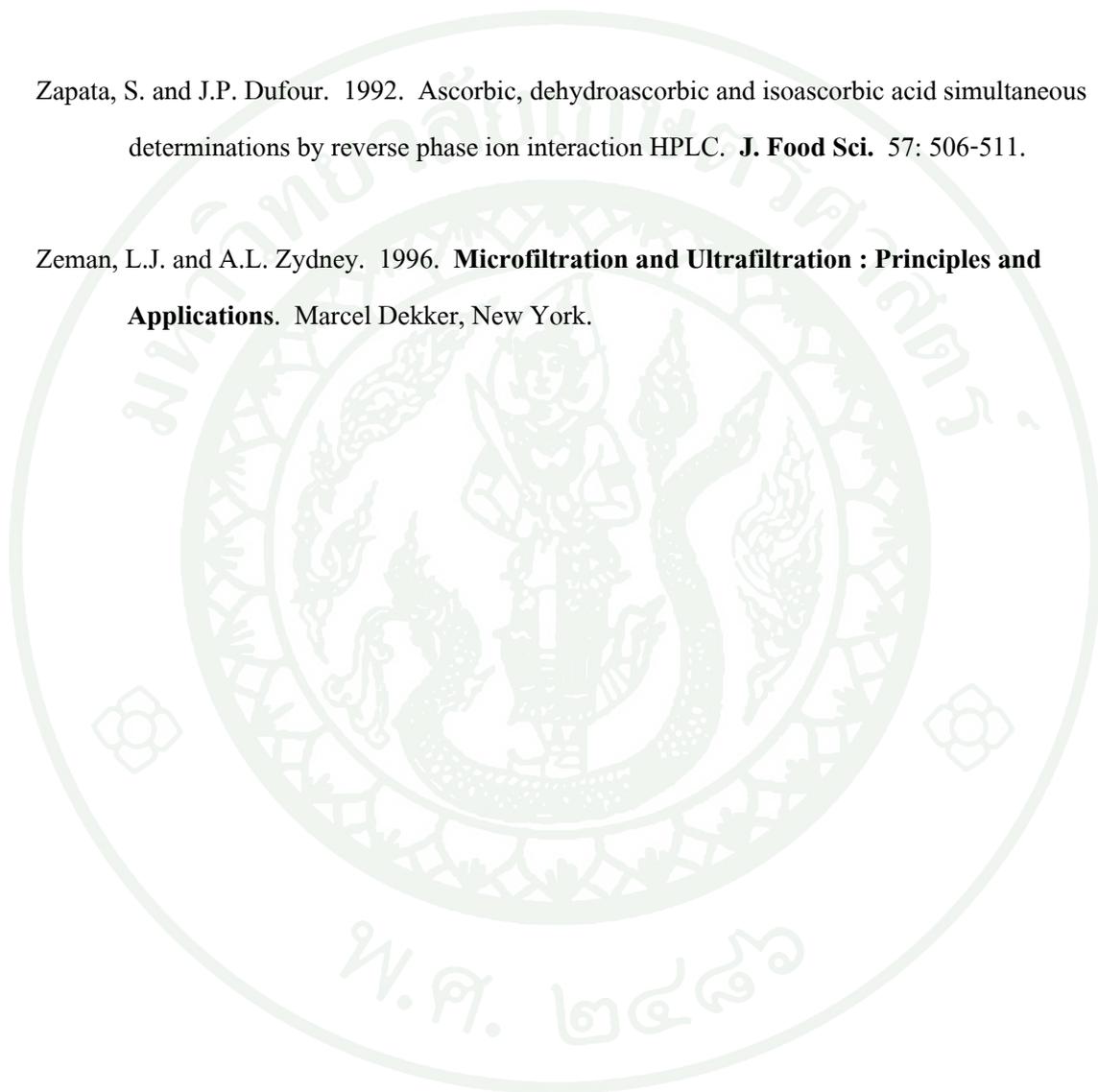
- Umamo, K., Y. Hagi, K. Nakahara, A. Shoji and T. Shibamoto. 1992. Volatile constituents of green and ripened pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.). **J. Agric. Food Chem.** 40: 599-603.
- Van den Dool, H. and P.D. Kratz. 1963. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **J. Chromatogr.** 11: 463-471
- Van Lelyveld, L.J and J.A. de Bruyn. 1977. Polyphenols, ascorbic acid and related enzyme activities associated with blackheart in Cayenne pineapple fruit. **Agrochem.** 9: 1-5.
- Vinci, G., F. Botrè and G. M. Ruggieri. 1995. Ascorbic acid in exotic fruits: a liquid chromatographic investigation. **Food Chem.** 53: 211-214.
- Volz, R.K., W.V. Biasi, J.A. Grant and E.J. Mitcham. 1998. Prediction of controlled atmosphere-induced flesh browning in 'Fuji' apple. **Postharvest Biol. Technol.** 13: 97-107
- Whitaker, B.D., T. Solomos and D.J. Harrison. 1998. Synthesis and oxidation of  $\alpha$ -farnesene during high and low O<sub>2</sub> storage of apple cultivars differing in scald susceptibility. **Acta Hort.** 464: 165-170.
- Wijeratnam, R.S.W., M. Abeysekere and I.G.N. Hewajulige. 1997. Studies on the controlled atmosphere storage of cv. 'Mauritius' pineapples. **Acta Hort.** 425: 581-586.
- Wu, P., M.-C. Kuo, T.G. Hartman, R.T. Rosen and C.-T. Ho. 1991. Free and glycosidically bound aroma compounds in pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.). **J. Agric. Food Chem.** 39: 170-172.
- You-Lin, T., Z. Yu-Chan and T. Xing-Jie. 1997. A study on factors inducing and controlling postharvest blackheart in pineapples. **Acta Hort.** 425: 595-603.

Yu, Z.R. and B.H. Chiang. 1986. Passion fruit juice concentration by ultrafiltration and evaporation. **J. Food Sci.** 51: 1501-1505.

\_\_\_\_\_, B.H. Chiang and L.S. Hwang. 1986. Retention of passion fruit juice compounds by ultrafiltration. **J. Food Sci.** 51: 841-842, 844.

Zapata, S. and J.P. Dufour. 1992. Ascorbic, dehydroascorbic and isoascorbic acid simultaneous determinations by reverse phase ion interaction HPLC. **J. Food Sci.** 57: 506-511.

Zeman, L.J. and A.L. Zydney. 1996. **Microfiltration and Ultrafiltration : Principles and Applications.** Marcel Dekker, New York.







ภาคผนวก ก  
การวิเคราะห์ทางเคมี

## การวิเคราะห์ทางเคมี

### 1. การคำนวณค่า Retention Index (RI)

$$RI = 100 \frac{N}{N+1} + 100 \frac{t_{Ra} - t_{RN}}{t_{R(N+n)} - t_{RN}}$$

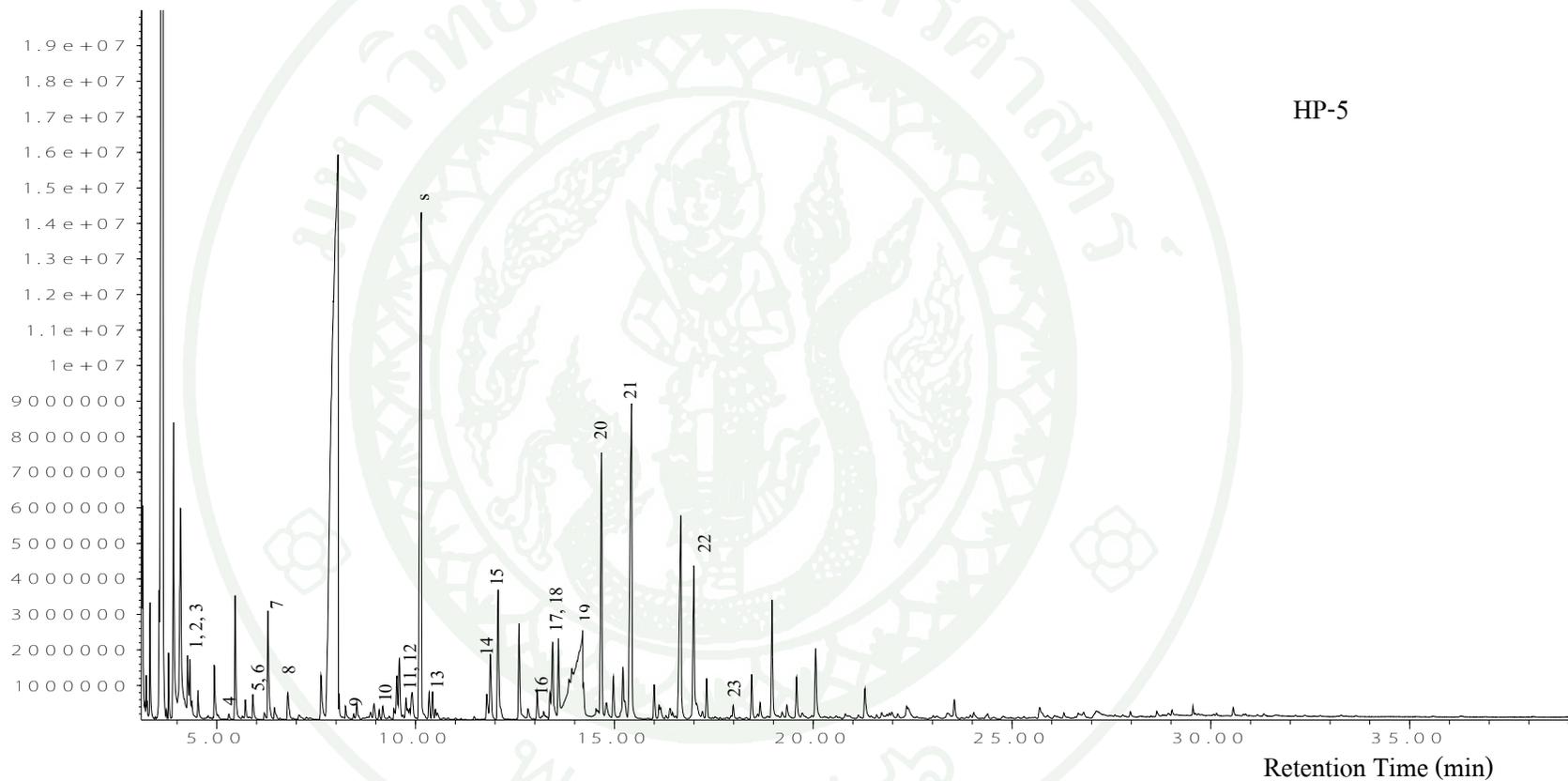
- เมื่อ  $N$  = จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า  
 $n$  = ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัว  
 ที่ค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง  
 $t_{Ra}$  = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI  
 $t_{RN}$  = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่า  
 $t_{R(N+n)}$  = RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนมากกว่า

### 2. การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

$$C_s = \frac{C_i \times A_s \times V_i \times r}{A_i \times W_s}$$

- เมื่อ  $C_s$  = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (นาโนกรัม/กรัม)  
 $C_i$  = ความเข้มข้นของ internal standard (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใน ไดเอทิลอีเทอร์)  
 $A_s$  = พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง  
 $A_i$  = พื้นที่ใต้พีคของ internal standard  
 $V_i$  = ปริมาตรของ internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)  
 $W_s$  = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (กรัม)  
 $r$  = response factor ของสารระเหยเท่ากับ 1.0

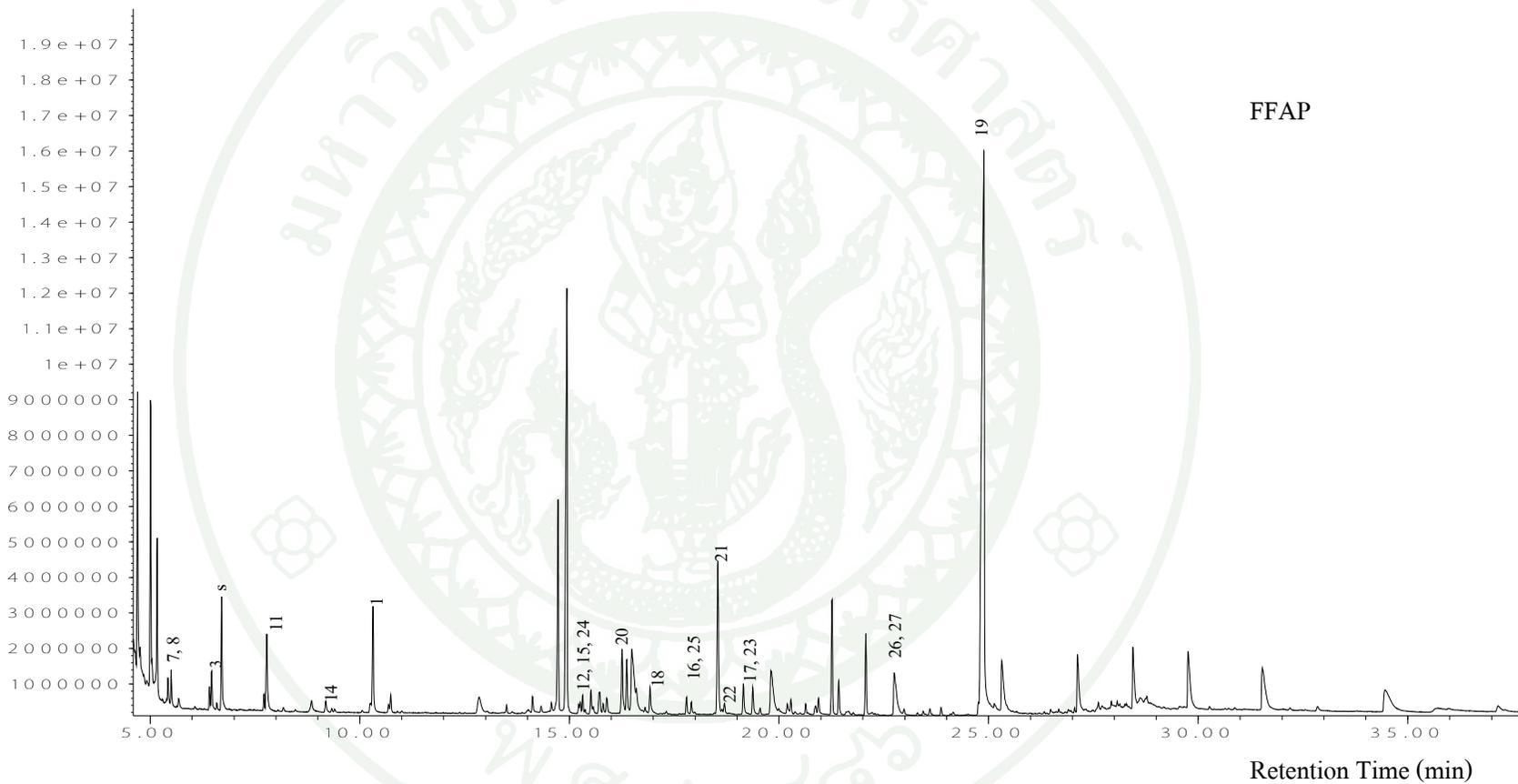
Abundance



ภาพผนวกที่ ก1 โครมาโทแกรมของน้ำส้มประดสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

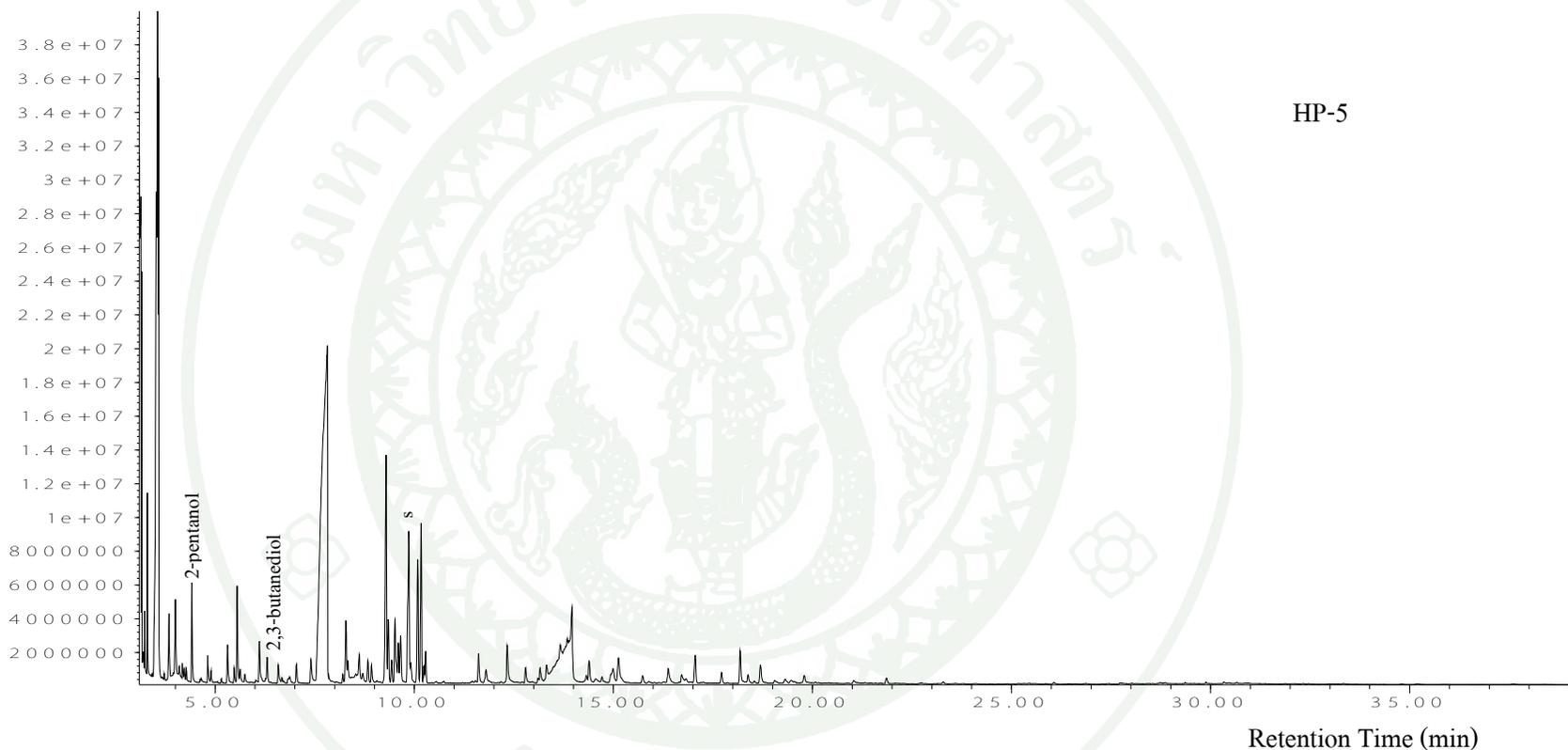
Abundance



ภาพผนวกที่ ก2 โครมาโทแกรมของน้ำส้มประรดสด ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

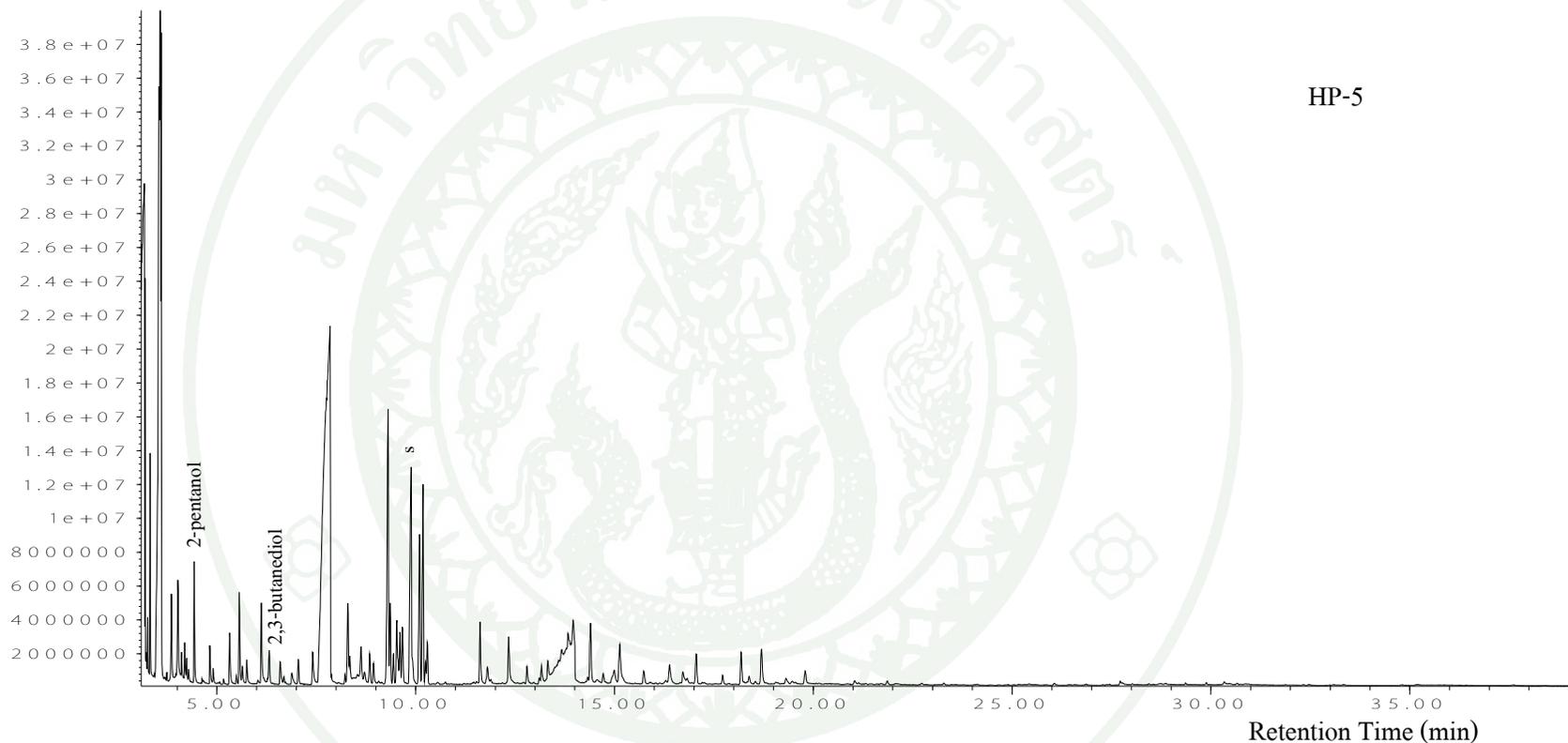
Abundance



ภาพผนวกที่ 3 โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดที่ได้จากผลสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ร่วมกับ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 21 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

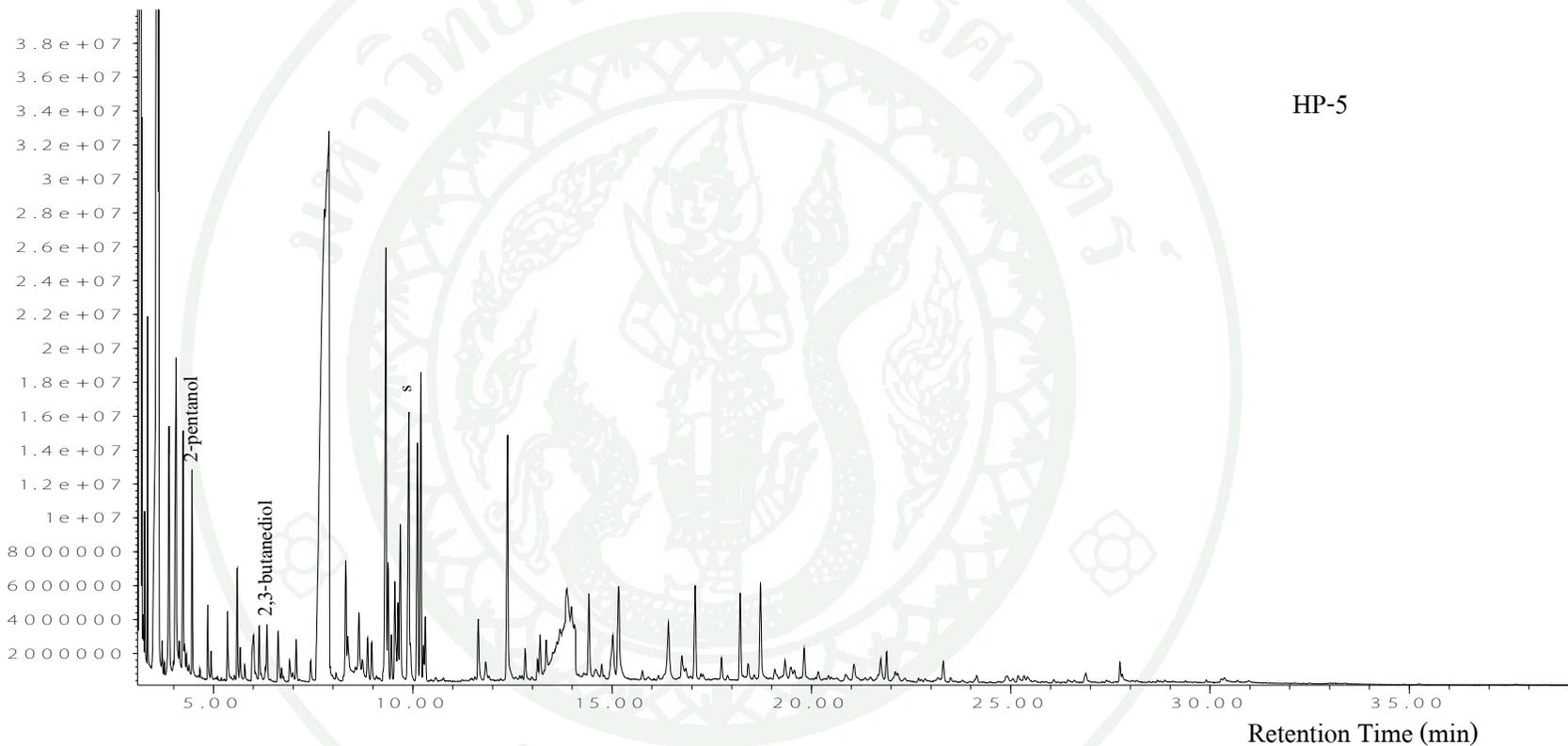
Abundance



ภาพผนวกที่ ๓4 โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดที่ได้จากผลสับปะรดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2 ร่วมกับ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 21 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

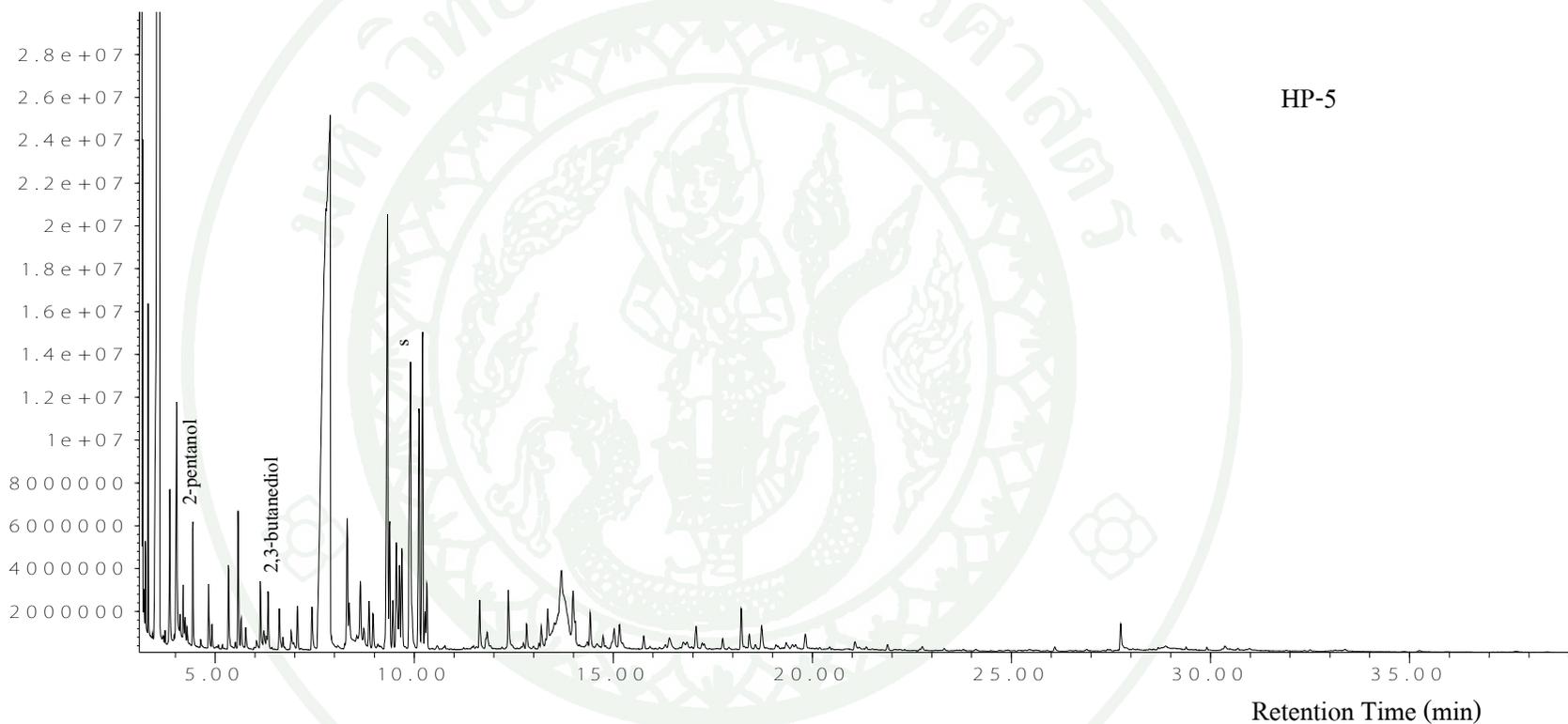
Abundance



ภาพผนวกที่ ๓5 โครมาโทแกรมของน้ำสับประรดที่ได้จากผลสับประรดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 7 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

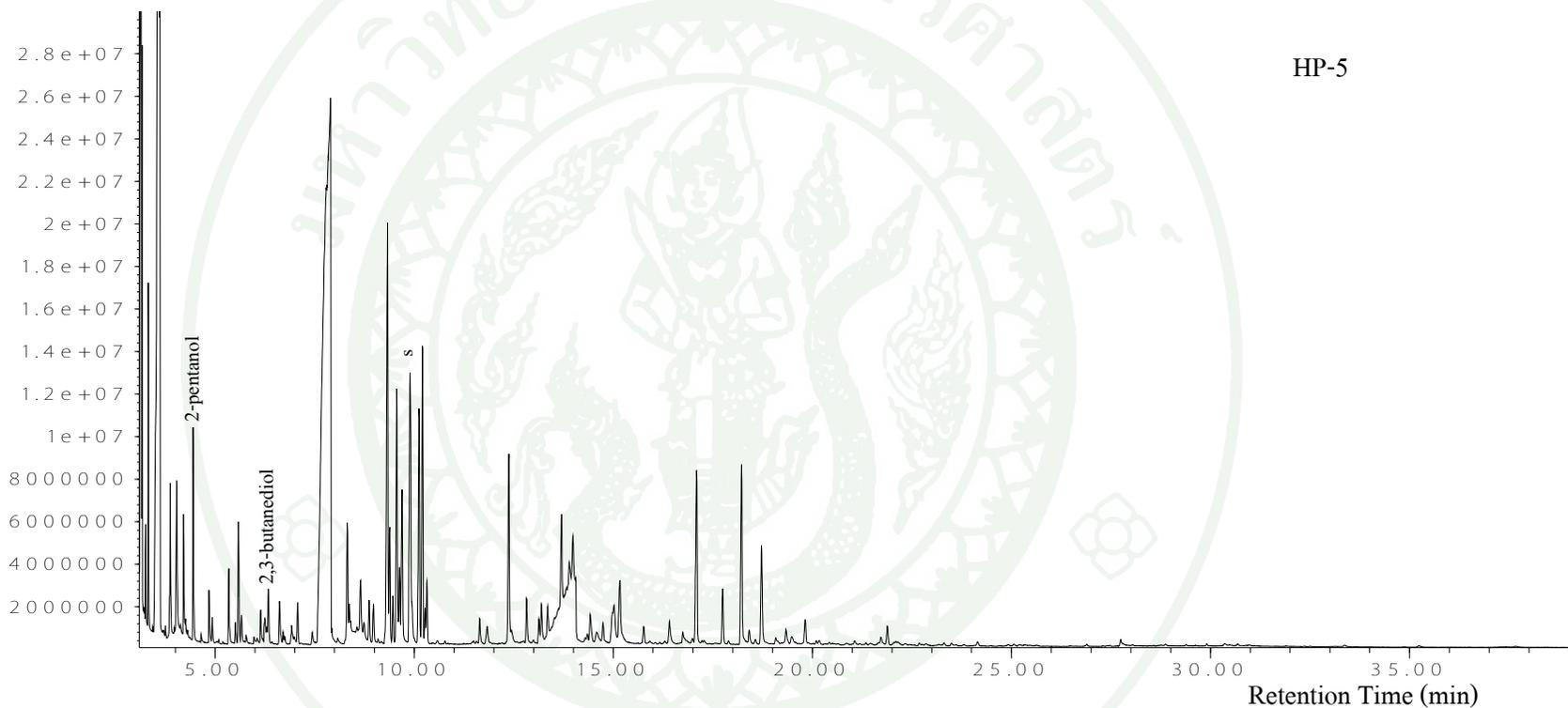
Abundance



ภาพผนวกที่ 6 โครมาโทแกรมของน้ำสับประรดที่ได้จากผลสับประรดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 14 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

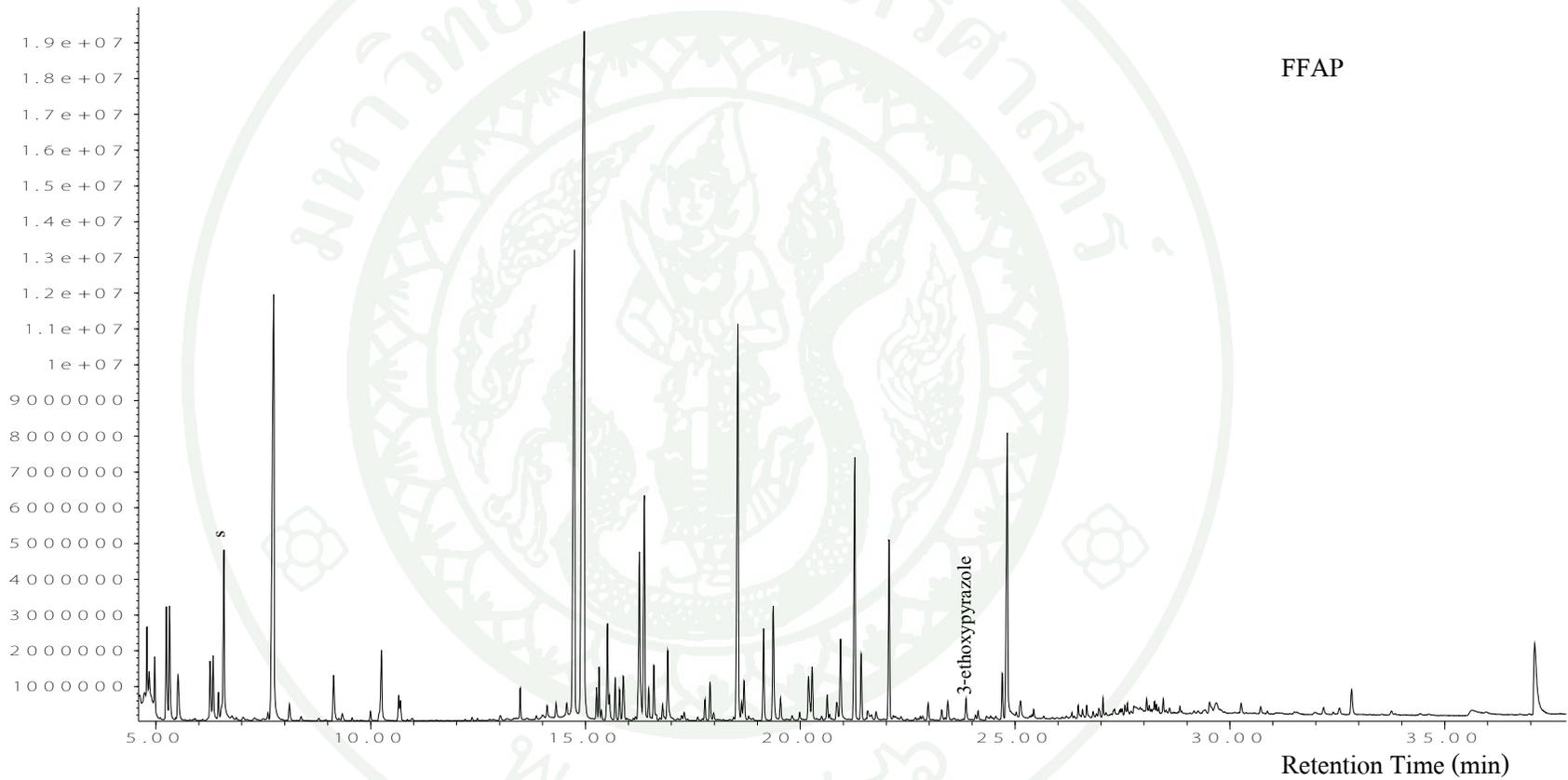
Abundance



ภาพผนวกที่ ๓7 โครมาโทแกรมของน้ำสับประรดที่ได้จากผลสับประรดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในวันที่ 21 ที่แยกด้วยคอลัมน์ HP-5

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

Abundance



ภาพผนวกที่ 8 โครมาโทแกรมของน้ำสับปะรดพาสเจอร์ไรส์ ที่แยกด้วยคอลัมน์ FFAP

หมายเหตุ s คือ สารมาตรฐาน 2-methyl-3-heptanone

### 3. การสุ่มตัวอย่างและวัดอัตราการหายใจ

เก็บตัวอย่างแก๊สในขวดบรรจุผลไม้ที่ต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ ผ่านทางสายยางโดยใช้กระบอกเก็บแก๊ส (Syringe) ขนาด 5 มิลลิลิตร และปิดปลายกระบอกเก็บแก๊สด้วยเซปตัม (septum) ทันทีเพื่อป้องกันการรั่วของแก๊ส จากนั้นฉีดแก๊สตัวอย่างเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890) ซึ่งมีสถานะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column:	HAYESEP Q 100/200 (1.8 m. x 1/8 in) และ MOLECULAR SIEVE 5A 80/100 (1.8 m. x 1/8 in)
Volume inject:	3.0 ml
Mobile phase:	He, Flow rate = 80 ml/min
Oven temperature:	100°C ; CO <sub>2</sub> (Method CO <sub>2</sub> .M, 2 min) 60°C ; CO <sub>2</sub> and O <sub>2</sub> (Method MIX.M, 4.5 min)
Detector temperature:	Thermal conduct detector (TCD) 200 °C
Reference flow:	20 ml/min
Make up flow:	5 ml/min

หลังจากทราบความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของผล สับปะรดแล้ว นำมาคำนวณค่าอัตราการหายใจตามสูตร ดังนี้

$$\text{อัตราการหายใจ (mlCO}_2\text{/ kg.hr)} = \frac{\% \text{CO}_2 \times \text{Flow rate (ml/min)} \times 60 \text{ (min/hr)}}{100 \times \text{Sample weight (kg)}}$$

โดย ml CO<sub>2</sub> / kg.hr คือ หน่วยของอัตราการหายใจ

%CO<sub>2</sub> คือ ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)

Flow rate คือ อัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วบรรจุผลไม้ (มิลลิลิตรต่อนาที)

Sample weight คือ น้ำหนักสับปะรดในขวดบรรจุผลไม้ (กิโลกรัม)

#### 4. การสุ่มตัวอย่างและการวิเคราะห์แก๊สเอทิลีน

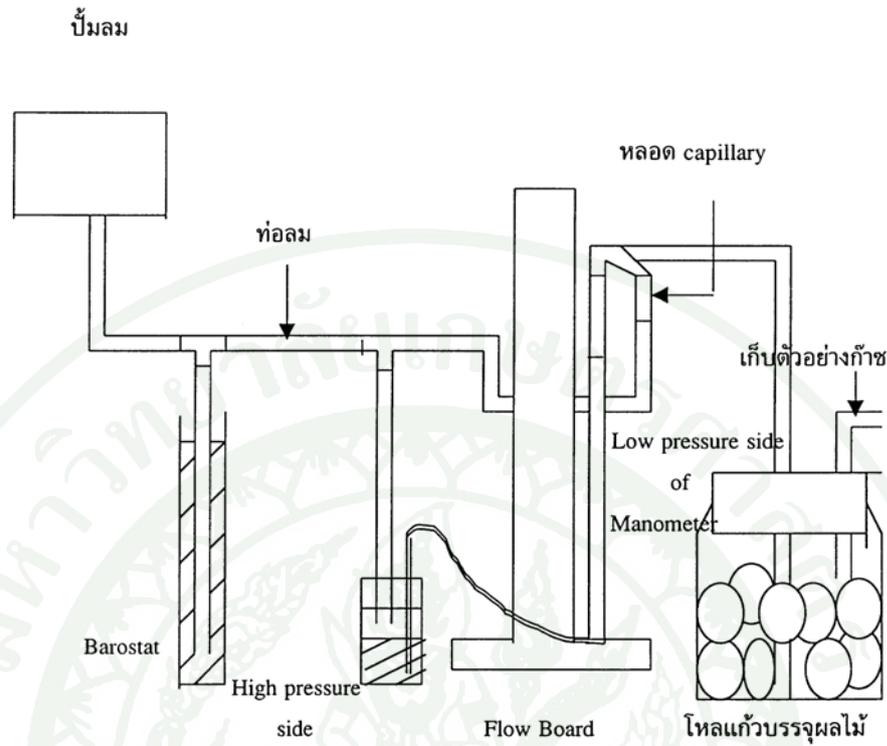
เก็บตัวอย่างแก๊สเอทิลีนในขวดบรรจุผลไม้ที่ต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศผ่านทางสายยางปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตร และปิดปลายเข็มฉีดยาด้วยเชปต์มัททันที่เพื่อป้องกันการรั่วของแก๊ส จากนั้นฉีดแก๊สตัวอย่างเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890,) ซึ่งมีสถานะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column	: Hayesep-S 100/120 (2 m. x 0.75 mm.)
Volume inject	: 5.0 ml
Mobile phase	: He, Flow rate = 80 ml/min
Oven temperature	: 40°C ; C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Method C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> .M, 2 min)
Detector temperature	: Flame ionize detector (FID) 250 °C
Reference flow	: 20 ml/min
Make up flow	: 5 ml/min

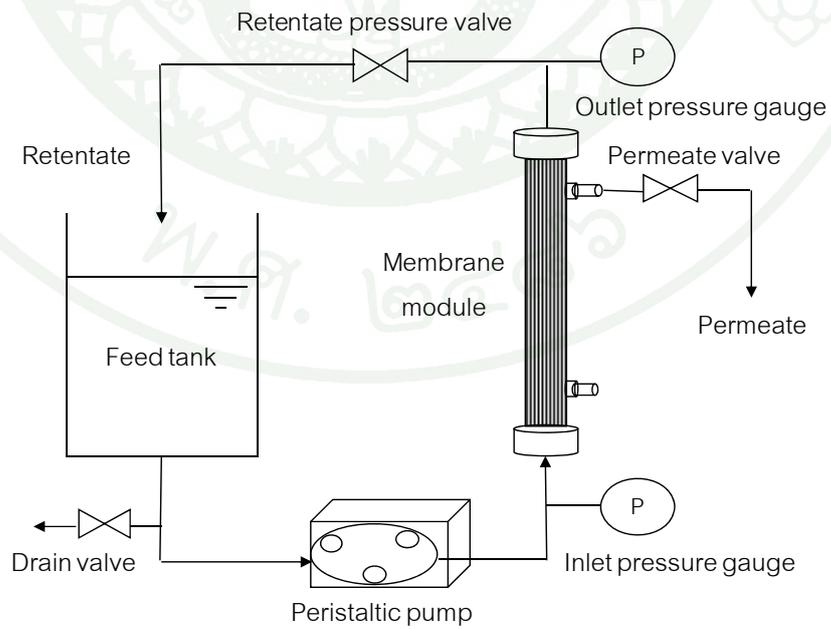
หลังจากทราบความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีน (ppm หรือ µl/ml) ที่เกิดจากการผลิตเอทิลีนของสับปะรดแล้ว นำมาคำนวณค่าอัตราการผลิตเอทิลีนตามสูตร ดังนี้

$$\text{อัตราการผลิตเอทิลีน } (\mu\text{C}_2\text{H}_4 / \text{kg.hr}) = \frac{\text{C}_2\text{H}_4 (\mu\text{l}) \times \text{Flow rate (ml/min)} \times 60 (\text{min/hr})}{1000 \text{ ml} \times \text{Sample weight (kg)}}$$

โดย	µl C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / kg.hr	คือ	หน่วยของอัตราการผลิตเอทิลีน
	µl C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /ml	คือ	ความเข้มข้นแก๊สเอทิลีน (ppm)
	Flow rate	คือ	อัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วบรรจุผลไม้ (มิลลิลิตรต่อนาที)
	Sample weight	คือ	น้ำหนักสับปะรดในขวดบรรจุผลไม้ (กิโลกรัม)



ภาพผนวกที่ ก9 อุปกรณ์แผงควบคุมอัตราการไหล



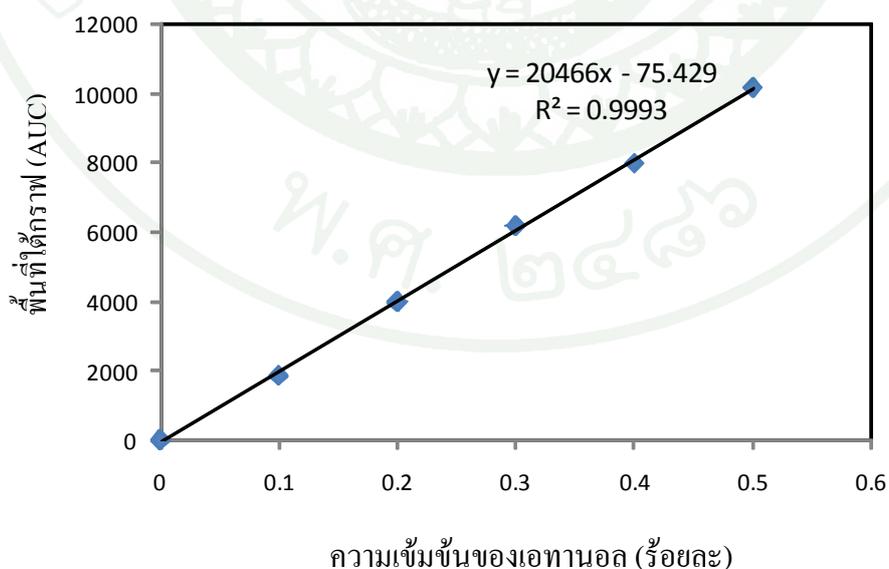
ภาพผนวกที่ ก10 แผนผังของชุดการทดลองกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

## 5. การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

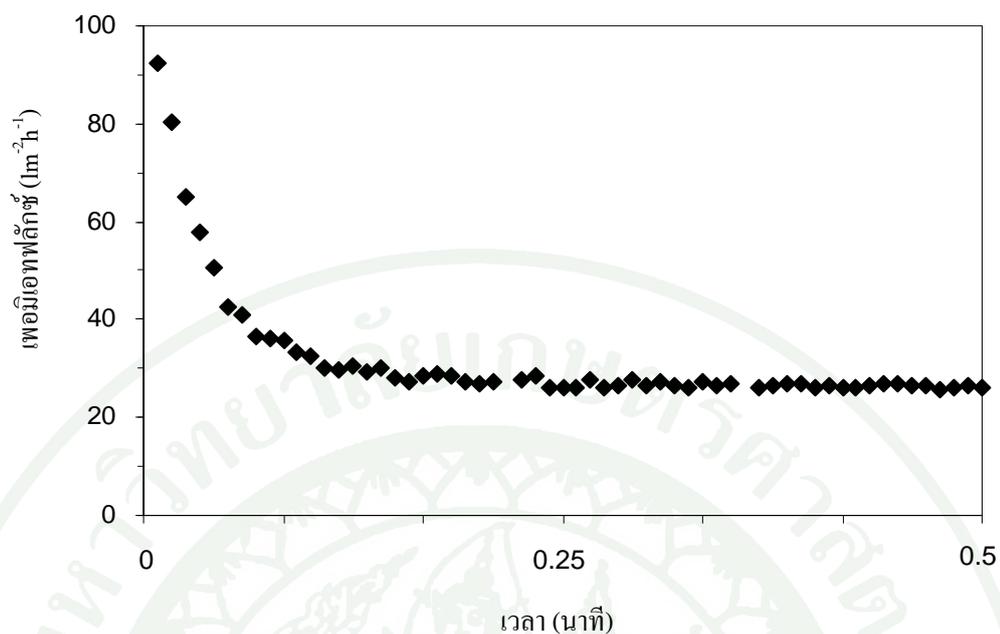
วัดปริมาณเอทานอลโดยวิธี headspace analysis ดัดแปลงจากวิธีของ Larsen and Watkins (1995) บรรจุน้ำคั้นสับประรด 5 มิลลิลิตร ลงในขวดใส่สารปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปิดผนึกปิดด้วยฝาอลูมิเนียมที่มีตัวเซปต์มกันการรั่วซึม แล้วนำตัวอย่างมาบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นิดแก๊สบริเวณช่องว่างบรรยากาศ (headspace) 1 มิลลิลิตรเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Agilent 6890N) โดยมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

Column	: HP-INNOWAX (30 m. x 0.25 mm.)
Volume inject	: 1 mL
Mobile phase	: He, Flow rate = 1.5 mL/min
Oven temperature	: 50°C
Detector temperature	: Flame ionize detector (FID) 150°C
Injection temperature	: 100°C

คำนวณปริมาณเอทานอลเทียบกับสารละลายมาตรฐานเอทานอลในน้ำความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.5 v/v ดังภาพผนวกที่ ก11 ปริมาณเอทานอลรายงานผลในหน่วย มิลลิลิตรเอทานอลต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำสับประรด



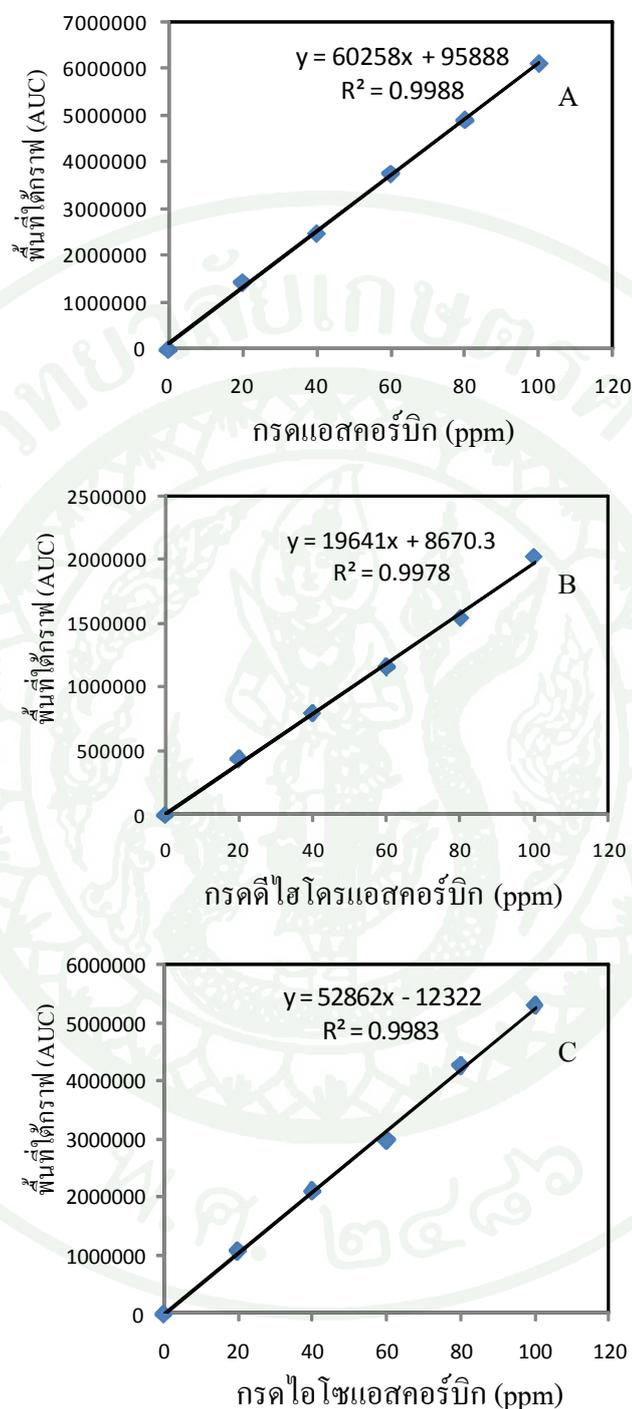
ภาพผนวกที่ ก11 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของเอทานอล



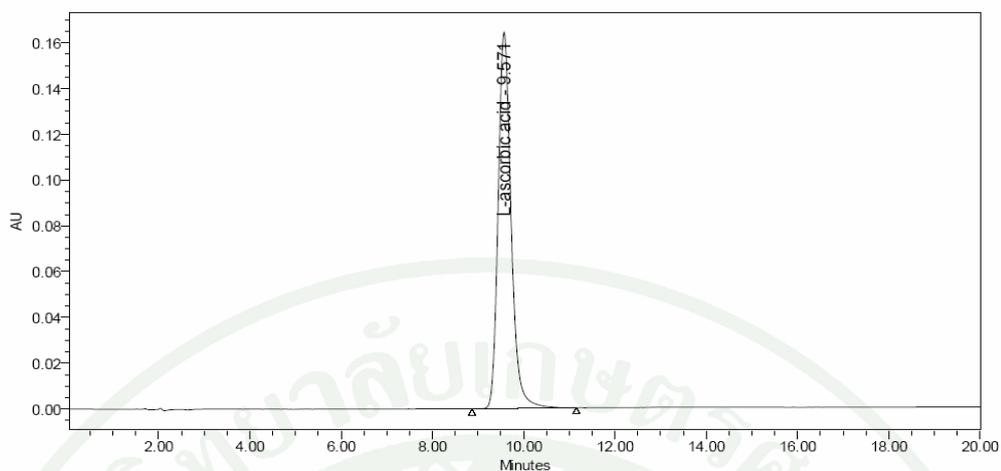
ภาพผนวกที่ ก12 เพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำสับประรดที่ผ่านกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งใช้เมมเบรนโพลีซัลโฟนแบบเส้นใยกลางที่มี MWCO 100,000 ใช้สภาวะในการกรองที่ความดัน (TMP) 100 กิโลปาสกาล และความเร็วในการไหลของสารป้อนในทิศทางขนานกับเมมเบรน 1.18 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



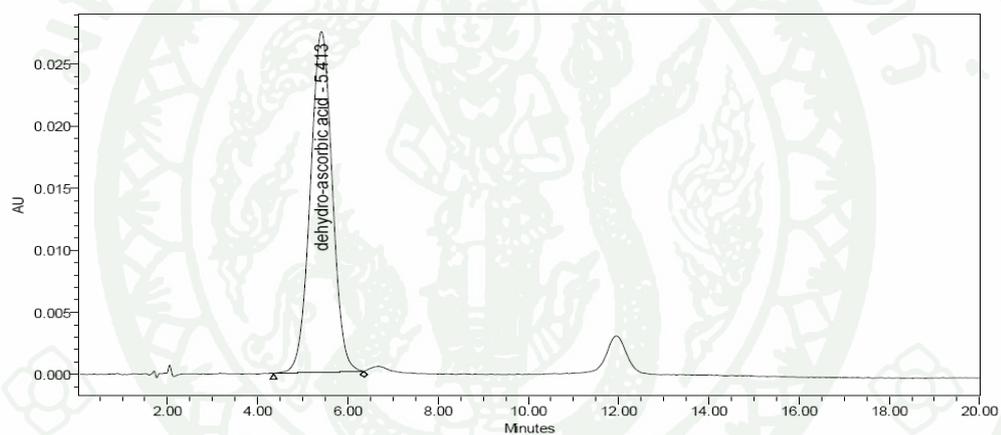
## การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี



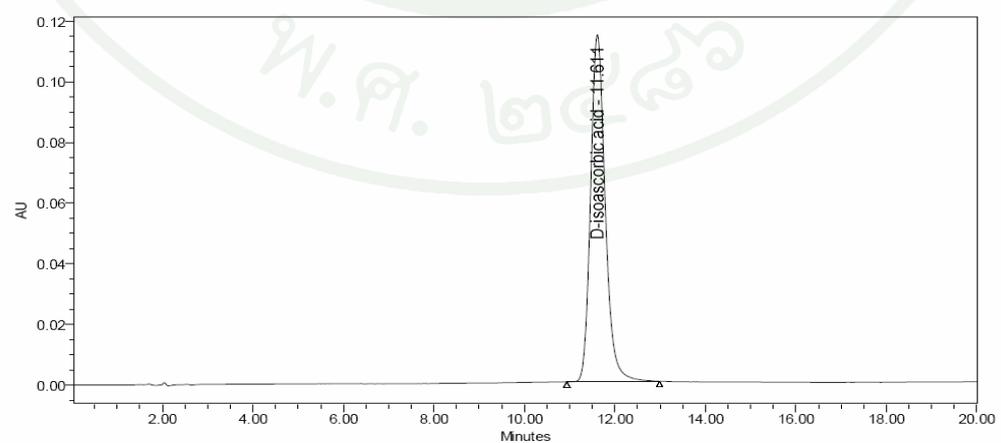
ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (A), กราฟมาตรฐานของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (B) และกราฟมาตรฐานของกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) (C)



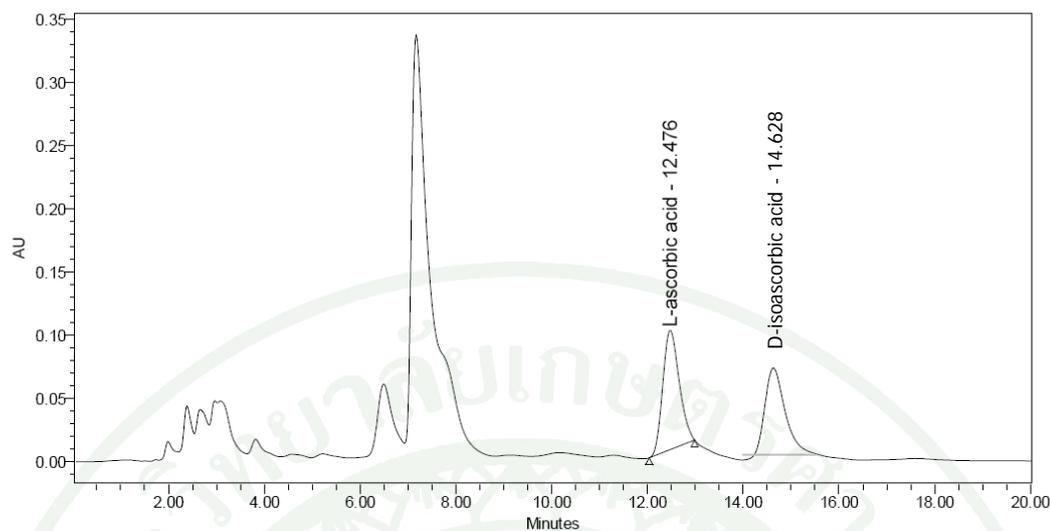
ภาพผนวกที่ ๒ ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก



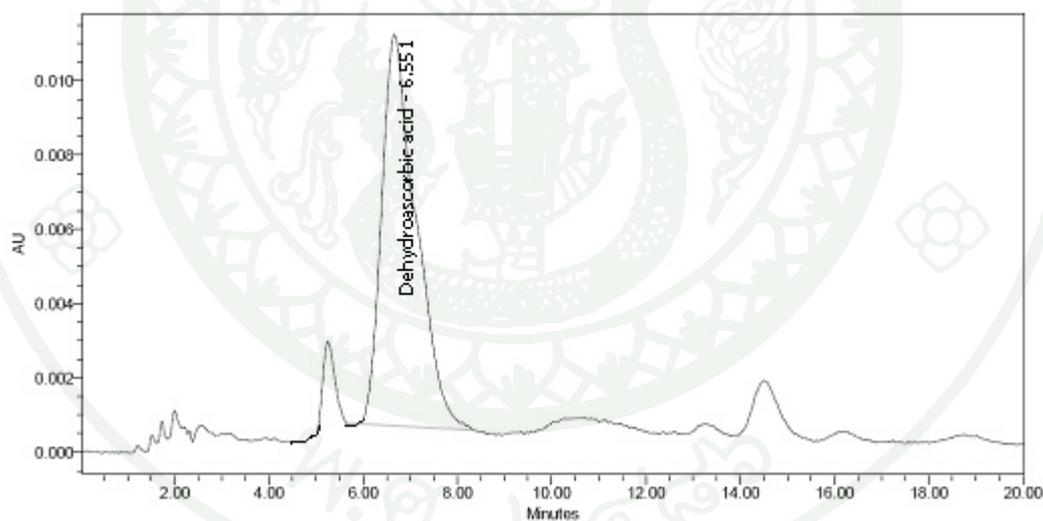
ภาพผนวกที่ ๓ ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก



ภาพผนวกที่ ๔ ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดไอโซแอสคอร์บิก



ภาพผนวกที่ ข5 ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) และกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) ของน้ำส้มประดสด โดย HPLC



ภาพผนวกที่ ข6 ตัวอย่างโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) ของน้ำส้มประดสด โดย HPLC



## การวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชัน

### 1. การวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity (DPPH) assay (ดัดแปลงจาก Singh *et al.*, 2002)

#### 1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1.1.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 1.1.2 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง (sonicator)
- 1.1.3 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
- 1.1.4 หลอดทดลอง
- 1.1.5 ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร

#### 1.2 สารเคมี

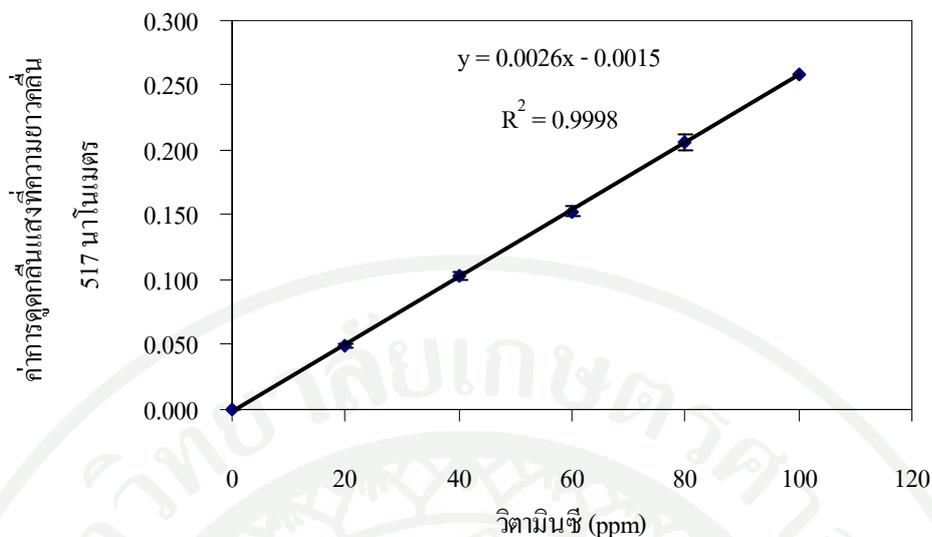
- 1.2.1 เมทานอล
- 1.2.2 สารละลาย DPPH

#### 1.3 วิธีการวิเคราะห์

1.3.1 นำสารละลายตัวอย่าง 100 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางในที่มืด 20 นาที

1.3.2 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

1.3.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงควบคุม (control OD) โดยทำตามข้อ 1.3 แต่ใช้สารละลายเมทานอล แทนสารสกัด



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีสำหรับการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

## 2. การวิเคราะห์ความสามารถต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ORAC

Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) assay (ดัดแปลงจาก Prior *et al.*, 2003)

### 2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

2.1.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2.1.2 ตู้ดูดควัน

2.1.3 เครื่องผสมสาร (vortex mixer)

2.1.4 เครื่องวัดการดูดกลืนคลื่นแสงฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence spectrophotometer) พร้อม well plate สีดำ

2.1.5 ไมโครปิเปตขนาดช่วง 5-20, 40-200 และ 100-1000

### 2.2 สารเคมี

2.2.1 สารละลายฟลูออเรสซิน

1.2.2 สารละลาย AAPH

1.2.3 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.075 โมลาร์ พีเอช 7.0

1.2.4 สารมาตรฐาน Trolox

### 1.3 วิธีการเตรียมสารเคมี

1.3.1 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.075 โมลาร์ พีเอช 7.0

ชั่งโซเดียม ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (มวลโมเลกุล 137.99) 4.00 กรัม รวมกับ ไดโซเดียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต (มวลโมเลกุล 141.96) 6.53 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับให้ได้ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร วัดพีเอชและปรับให้ได้ 7.0

1.3.2 สารละลายฟลูออเรสซิน

FL #1 ชั่งสารฟลูออเรสซิน 0.0225 กรัม ละลายในสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.075 โมลาร์ พีเอช 7.0

FL #2 ปิเปต FL #1 มา 50 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.075 โมลาร์ พีเอช 7.0

FL working solution

ปิเปต FL #2 มา 320 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.075 โมลาร์ พีเอช 7.0

1.3.3 สารมาตรฐาน Trolox (ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.075 โมลาร์ พีเอช 7.0)

1.3.4 สารละลาย AAPH

ชั่งสาร AAPH 0.1720 กรัม ละลายในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.075 โมลาร์ พีเอช 7.0 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

#### 1.4 วิธีการวิเคราะห์

1.4.1 นำสารสกัด 20 ไมโครลิตร ใส่ในไมโครเพลต

1.4.2 เติมสารละลายฟลูออเรสซินลงในไมโครเพลตหลุมละ 200 ไมโครลิตร

1.4.3 ใส่ไมโครเพลตลงในเครื่องวัดการดูดกลืนคลื่นแสงฟลูออเรสเซนซ์

1.4.4 กำหนดให้เครื่องเติมสารละลาย AAPH หลุมละ 75 ไมโครลิตร โดยเริ่มเติมสาร AAPH ที่รอบที่ 4

1.4.5 อ่านค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์สัมพันธ์ทันที โดยมีการตั้งค่าได้แก่

No. of cycles	50
Cycle time (s)	160
No. of flashes	10
Excitation filter	480 nm
Emission filter	520 nm
Positioning delay (s)	0.2
Shaking width (mm)	3
Shaking mode	orbital
Additional shaking	8 s after injection cycle (s)
Injection speed ( $\mu\text{l/s}$ )	310
Injection cycle	4
Injection start time (s)	0.0
Target temperature	37.0

1.4.6 เติมสารฟลูออเรสซิน 200 ไมโครลิตรลงในไมโครเพลตเพื่อให้เครื่องอ่านค่า gain adjustment

1.4.7 วัดค่าความเข้มแสงควบคุม (control) โดยใช้ละลายในสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์แทนสารสกัด

1.4.8 สร้างกราฟมาตรฐานของ Trolox ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของ Trolox

## 1.5 วิธีการคำนวณ

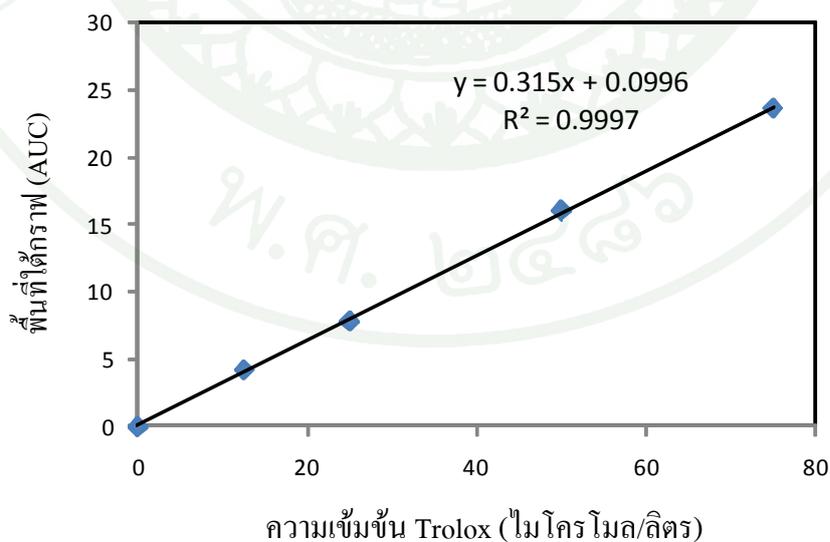
1.5.1 คำนวณพื้นที่ใต้กราฟสุทธิ (net AUC) ของตัวอย่าง

1.5.2 นำค่าพื้นที่ใต้กราฟสุทธิแทนที่ในสมการของกราฟมาตรฐานของ Trolox แล้วนำมาคำนวณเป็นปริมาณของ Trolox ในหน่วยไมโครโมลต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง โดยกราฟมาตรฐาน แสดงในภาพผนวกที่ ค2

$$AUC = (0.5 + f_5/f_4 + f_6/f_4 + f_7/f_4 + \dots + f_i/f_4) \times CT$$

$$net\ AUC = AUC_{sample} - AUC_{blank}$$

เมื่อ AUC = พื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve)  
 $f_4$  = ค่าความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์เริ่มต้น โดยเริ่มอ่านที่รอบที่ 4  
 (initial fluorescence reading at cycle 4)  
 $f_i$  = ค่าความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์เมื่ออ่านที่รอบที่ i  
 (fluorescence reading at cycle i)  
 CT = เวลาที่ใช้ต่อรอบ มีหน่วยเป็นนาที (Cycle time)



ภาพผนวกที่ ค2 กราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Trolox



ภาคผนวก ง  
การประเมินทางประสาทสัมผัส

## การประเมินทางประสาทสัมผัส

### 1. ทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

ตารางผนวกที่ ๑ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คะแนนความแตกต่างทางด้านกลิ่น โดยรวมระหว่างตัวอย่างควบคุม (น้ำส้มปรงสด) กับตัวอย่างทดสอบ (น้ำส้มปรง ส่วนพอมิเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำส้มปรงพาสเจอร์ไรส์ และน้ำส้มปรงผสม)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:score\_smell

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	661.332 <sup>a</sup>	44	15.030	34.907	.000
Intercept	1137.747	1	1137.747	2.642E3	.000
trt	647.998	4	129.600	300.987	.000
rep	13.061	39	.335	.778	.823
Error	83.964	195	.431		
Total	1885.000	240			
Corrected Total	745.296	239			

a. R Squared = .887 (Adjusted R Squared = .862)

หมายเหตุ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

ตารางผนวกที่ ๒ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คະแนนความแตกต่างทางด้านรสชาติ โดยรวมระหว่างตัวอย่างควบคุม (น้ำสับประคสด) กับตัวอย่างทดสอบ (น้ำสับประค ส่วนพอมิเอทและรีเทนเททจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน น้ำสับประคพาสเจอร์ไรส์ และน้ำสับประคผสม)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:score\_taste

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	613.788 <sup>a</sup>	44	13.950	46.414	.000
Intercept	1191.076	1	1191.076	3.963E3	.000
trt	594.140	4	118.828	395.367	.000
rep	19.568	39	.502	1.669	.013
Error	58.607	195	.301		
Total	1865.000	240			
Corrected Total	672.396	239			

a. R Squared = .913 (Adjusted R Squared = .893)

หมายเหตุ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

## 2. ตัวอย่างแบบทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

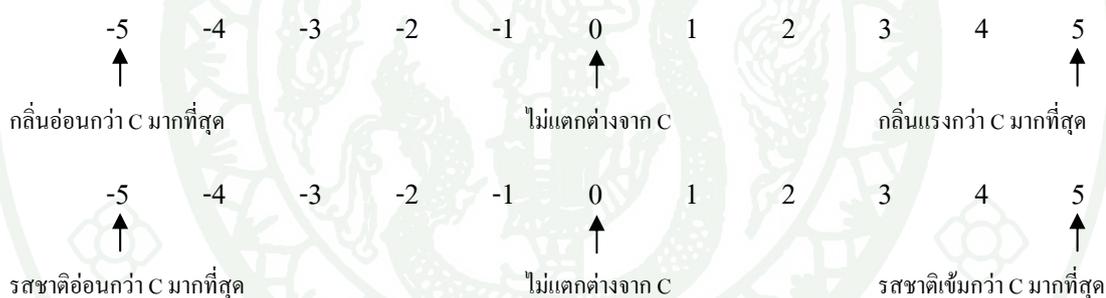
ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ชื่อเล่น.....เบอร์ติดต่อ.....

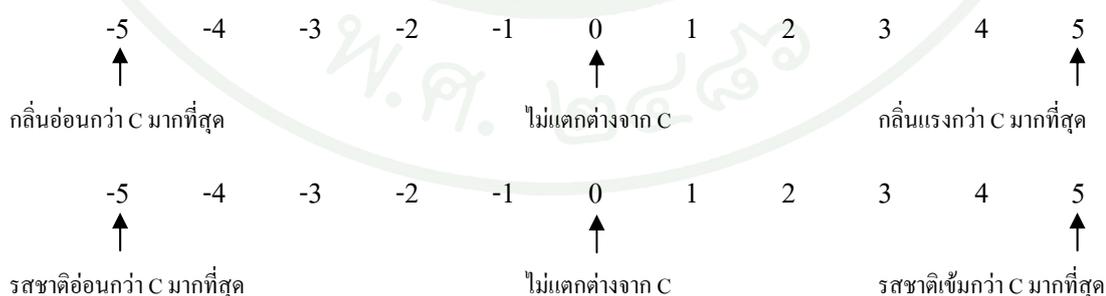
### คำแนะนำ

- ท่านจะได้รับตัวอย่างทั้งหมด 6 คู่ แต่ละคู่ประกอบด้วยตัวอย่างที่กำกับด้วยอักษร “C” และตัวอย่างที่กำกับด้วยตัวเลข 3 หลัก
- ในแต่ละคู่ให้ท่านทดสอบตัวอย่าง “C” ก่อน จากนั้นจึงทดสอบตัวอย่างที่กำกับด้วยตัวเลข 3 หลัก พิจารณาจากลักษณะกลิ่นและรสชาติโดยรวม แล้วบอกว่าตัวอย่างดังกล่าวแตกต่างจาก “C” หรือไม่ พร้อมทั้งบอกขนาดความแตกต่าง โดยวงกลมล้อมรอบคะแนนที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

ตัวอย่าง \_\_\_\_\_



ตัวอย่าง \_\_\_\_\_





ตารางผนวกที่ จ1 อัตราการหายใจของสัตว์ประรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

สภาพบรรยากาศ ที่เก็บรักษา	อัตราการหายใจ (mlCO <sub>2</sub> /kg.hr)			
	วันที่เก็บรักษา			
	0	7	14	21
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	16.01 ± 0.76	16.27 <sup>ab</sup> ± 0.70	16.56 <sup>bc</sup> ± 0.69	17.38 <sup>b</sup> ± 0.79
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	16.53 ± 0.69	17.37 <sup>ab</sup> ± 0.79	17.57 <sup>ab</sup> ± 0.74	18.16 <sup>b</sup> ± 0.84
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	15.12 ± 0.90	15.30 <sup>b</sup> ± 0.59	15.48 <sup>c</sup> ± 0.65	16.73 <sup>b</sup> ± 0.68
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	14.65 ± 0.51	14.99 <sup>b</sup> ± 1.33	15.76 <sup>c</sup> ± 0.59	16.16 <sup>b</sup> ± 0.49
บรรยากาศปกติ	16.48 ± 1.53	18.49 <sup>a</sup> ± 1.32	19.24 <sup>a</sup> ± 0.57	21.24 <sup>a</sup> ± 1.01
F-test	ns	*	*	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple rang test (DMRT)

ตารางผนวกที่ จ2 อัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

สภาพบรรยากาศ ที่เก็บรักษา	อัตราการผลิตเอทิลีน ( $\mu\text{C}_2\text{H}_4 / \text{kg} \cdot \text{hr}$ )			
	วันที่เก็บรักษา			
	0	7	14	21
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	0.06 ± 0.03	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.08 ± 0.02
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.03	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.02
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.02
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01
บรรยากาศปกติ	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.03	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.02
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ จ3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

สภาพบรรยากาศ ที่เก็บรักษา	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)			
	วันที่เก็บรักษา			
	0	7	14	21
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	12.90 ± 0.14	13.20 <sup>ab</sup> ± 0.14	13.40 <sup>b</sup> ± 0.16	13.20 <sup>b</sup> ± 0.15
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	12.90 ± 0.14	13.40 <sup>a</sup> ± 0.14	13.00 <sup>b</sup> ± 0.14	13.00 <sup>b</sup> ± 0.14
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	12.90 ± 0.14	13.30 <sup>a</sup> ± 0.15	13.20 <sup>b</sup> ± 0.15	13.00 <sup>b</sup> ± 0.14
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	12.90 ± 0.14	13.00 <sup>b</sup> ± 0.15	13.20 <sup>b</sup> ± 0.15	13.00 <sup>b</sup> ± 0.14
บรรยากาศปกติ	12.90 ± 0.14	12.70 <sup>c</sup> ± 0.14	12.50 <sup>a</sup> ± 0.16	12.20 <sup>a</sup> ± 0.16
F-test	-	*	*	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple rang test (DMRT)

ตารางผนวกที่ ๑๔ ปริมาณเอทานอลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

สภาพบรรยากาศ ที่เก็บรักษา	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละ)			
	วันที่เก็บรักษา			
	0	7	14	21
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	0.0067 ± 0.0001	0.0073 <sup>b</sup> ± 0.0001	0.0082 <sup>b</sup> ± 0.0001	0.0104 <sup>b</sup> ± 0.0004
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	0.0067 ± 0.0001	0.0074 <sup>b</sup> ± 0.0001	0.0089 <sup>b</sup> ± 0.0003	0.0108 <sup>b</sup> ± 0.0002
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	0.0067 ± 0.0001	0.0070 <sup>b</sup> ± 0.0002	0.0076 <sup>c</sup> ± 0.0006	0.0093 <sup>c</sup> ± 0.0002
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>	0.0067 ± 0.0001	0.0069 <sup>b</sup> ± 0.0002	0.0074 <sup>c</sup> ± 0.0005	0.0092 <sup>c</sup> ± 0.0002
บรรยากาศปกติ	0.0067 ± 0.0001	0.0085 <sup>a</sup> ± 0.0003	0.0105 <sup>a</sup> ± 0.0003	0.0133 <sup>a</sup> ± 0.0003
F-test	-	*	*	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple rang test (DMRT)

ตารางผนวกที่ ๖5 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซี ทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพควบคุม บรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 21 วัน

สภาพบรรยากาศที่ เก็บรักษา	วันที่เก็บ รักษา	ปริมาณกรด แอสคอร์บิก	ปริมาณกรดดี ไฮโดรแอสคอร์บิก	ปริมาณวิตามินซี ทั้งหมด
-	0	13.02 ± 0.51	32.30 ± 01.58	45.32 ± 2.09
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	7	10.73 <sup>b</sup> ± 0.89	18.25 <sup>b</sup> ± 0.61	28.98 <sup>b</sup> ± 0.98
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		10.25 <sup>b</sup> ± 0.13	15.77 <sup>c</sup> ± 0.78	26.02 <sup>c</sup> ± 0.39
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>		12.89 <sup>a</sup> ± 0.54	26.42 <sup>a</sup> ± 1.71	39.30 <sup>a</sup> ± 1.44
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		12.96 <sup>a</sup> ± 0.60	27.01 <sup>a</sup> ± 0.76	39.96 <sup>a</sup> ± 1.12
บรรยากาศปกติ		8.73 <sup>c</sup> ± 0.10	12.71 <sup>d</sup> ± 0.25	21.44 <sup>d</sup> ± 0.70
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	14	8.19 <sup>b</sup> ± 0.67	15.26 <sup>c</sup> ± 0.44	23.45 <sup>c</sup> ± 1.10
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		7.69 <sup>b,c</sup> ± 0.90	13.06 <sup>c</sup> ± 0.27	20.75 <sup>d</sup> ± 0.65
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>		10.90 <sup>a</sup> ± 0.84	19.57 <sup>b</sup> ± 1.85	30.47 <sup>b</sup> ± 1.16
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		10.99 <sup>a</sup> ± 0.46	24.69 <sup>a</sup> ± 1.31	35.68 <sup>a</sup> ± 0.78
บรรยากาศปกติ		6.15 <sup>c</sup> ± 0.03	7.68 <sup>d</sup> ± 0.35	13.83 <sup>c</sup> ± 0.27
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	21	6.74 <sup>b,c</sup> ± 0.64	11.05 <sup>c</sup> ± 0.63	17.79 <sup>c</sup> ± 1.01
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		6.04 <sup>c</sup> ± 0.59	10.70 <sup>c</sup> ± 0.66	16.74 <sup>c</sup> ± 0.87
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>		7.97 <sup>a,b</sup> ± 0.72	16.28 <sup>b</sup> ± 0.56	24.25 <sup>b</sup> ± 1.47
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		8.04 <sup>a</sup> ± 0.46	20.99 <sup>a</sup> ± 0.63	29.03 <sup>a</sup> ± 2.27
บรรยากาศปกติ		2.55 <sup>d</sup> ± 0.11	5.74 <sup>d</sup> ± 0.76	8.29 <sup>d</sup> ± 0.30
	F-test	*	*	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple rang test (DMRT)

ตารางผนวกที่ ๖6 ความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH และ ORAC ของสับปะรดระหว่างการเก็บรักษาสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ และสภาพบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

สภาพบรรยากาศที่เก็บรักษา	วันที่เก็บรักษา	DPPH (mg vitamin C equiv/ 100 ml fruit juice)	ORAC ( $\mu$ mol Trolox equiv/ 100 ml fruit juice)
-	0	27.71 $\pm$ 1.41	679.65 $\pm$ 5.77
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	7	22.15 <sup>c</sup> $\pm$ 0.20	621.16 <sup>c</sup> $\pm$ 1.02
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		21.43 <sup>c</sup> $\pm$ 0.76	610.03 <sup>c</sup> $\pm$ 2.20
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>		24.02 <sup>b</sup> $\pm$ 0.76	639.88 <sup>b</sup> $\pm$ 9.65
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		25.86 <sup>a</sup> $\pm$ 0.44	662.27 <sup>a</sup> $\pm$ 1.11
บรรยากาศปกติ		12.81 <sup>d</sup> $\pm$ 0.52	477.68 <sup>d</sup> $\pm$ 6.63
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	14	19.94 <sup>c</sup> $\pm$ 0.44	594.01 <sup>c</sup> $\pm$ 4.45
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		17.93 <sup>d</sup> $\pm$ 0.62	585.97 <sup>c</sup> $\pm$ 1.56
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>		21.96 <sup>b</sup> $\pm$ 1.00	607.92 <sup>b</sup> $\pm$ 5.67
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		24.33 <sup>a</sup> $\pm$ 0.54	627.88 <sup>a</sup> $\pm$ 5.73
บรรยากาศปกติ		8.93 <sup>e</sup> $\pm$ 0.86	407.56 <sup>d</sup> $\pm$ 1.48
2%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>	21	18.07 <sup>b</sup> $\pm$ 0.74	555.80 <sup>b</sup> $\pm$ 6.56
2%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		14.12 <sup>c</sup> $\pm$ 0.63	527.81 <sup>b</sup> $\pm$ 7.43
5%O <sub>2</sub> + 5%CO <sub>2</sub>		20.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.33	593.30 <sup>a</sup> $\pm$ 6.46
5%O <sub>2</sub> + 10%CO <sub>2</sub>		20.59 <sup>a</sup> $\pm$ 0.27	608.67 <sup>a</sup> $\pm$ 7.42
บรรยากาศปกติ		3.68 <sup>d</sup> $\pm$ 0.89	393.76 <sup>d</sup> $\pm$ 8.63
F-test		*	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple rang test (DMRT)

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสุธาณี ชื่นทอง
เกิดวันที่	20 ธันวาคม 2526
สถานที่เกิด	อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ หรือรางวัลทางวิชาการ	นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย ในงานประชุมวิชาการ ครั้งที่ 48 (วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2553 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ภายใต้ โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม ประจำปี 2550 และ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์