กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอม *Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel' เพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ

นางสาวสมฤดี ไทพาณิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENZYME PROCESSING OF BANANA *Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel' SYRUP FOR FUNCTIONAL FOOD

Miss Somruedee Thaiphanit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอม *Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel' เพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ
โดย	นางสาวสมฤดี ไทพาณิชย์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชื่นจิต ประกิตชัยวัฒนา)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

นางสาวสมฤดี ไทพาณิชย์ : กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอม *Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel' เพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ. (ENZYME PROCESSING OF BANANA *Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel' SYRUP FOR FUNCTIONAL FOOD) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง, 143 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอม พันธุ์หอมทอง (*Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel') ระหว่างการสุก 3 ระยะ คือ ระยะ 6 ระยะ 7 และระยะ 8 เพื่อคัดเลือกระยะการสุกที่เหมาะสม สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการหากระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอมเพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ จากการศึกษาพบว่า เมื่อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมีระยะการสุกมากขึ้น แอกทิวิตีของการกำจัดอนุมูลอิสระ ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกในเนื้อกล้วยหอมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$) จากการตรวจหาชนิดสารให้กลิ่นที่ระเหยได้โดยใช้เทคนิค SHA/GC/MS พบว่ามีสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ทั้งหมด 17 ชนิด ทั้งนี้ชนิดของสารที่พบในเนื้อกล้วยหอมจะแตกต่างกันตามระยะการสุก และเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีสารที่ทำให้เกิดกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของกล้วยเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ได้แก่ 3-Methylbutyl ester, 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester และ Phenylmethyl ester โดยได้รับการยอมรับในด้านกลิ่นกล้วยหอม และรสหวานมากที่สุดด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้เนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปไซรัปกล้วยหอม จากการศึกษาภาวะการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด โดยแปรระยะเวลาการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำเดือดนาน 0-5 นาที ร่วมกับการใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล 2 ชนิด คือ กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิค ปริมาณ 0-3.00 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเนื้อกล้วยหอม พบว่า เมื่อให้ความร้อนจนผลกล้วยหอมมีอุณหภูมิ 85°C นาน 5 นาที ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิคปริมาณ 0.50 % โดยน้ำหนัก สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบดได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อทดลองเปรียบเทียบการผลิตไซรัปกล้วยหอมเพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ โดยใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า 2 ชนิด คือ Pectinex Ultra SP-L® และ Sigma P4300® ปริมาณ 0.5-1.5 % โดยน้ำหนัก นาน 0-12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 ± 2°C และวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ พบว่า การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 1.5 % นาน 3 ชั่วโมง จะได้ไซรัปกล้วยหอมที่สีเหลืองนวล มีกลิ่นกล้วยหอมขัดเจน มีเสถียรภาพสูง มีเส้นใยอาหาร 21.75 % โดยน้ำหนักแห้ง มีแอกทิวิตีของการกำจัดอนุมูลอิสระเท่ากับ 48.49 μg DPPH/μg fresh mass หรือ 421.42 mM Trolox equivalents/g Fresh Mass มีแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกสำหรับเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* LA5 และ *Bifidobacterium lactis* BB-12 เป็น -0.12 และ 0.30 ตามลำดับ นอกจากนี้จากการทดลองเติมไซรัปกล้วยหอม 20% ในการทำขนมถ้วยฟู พบว่าได้รับคะแนนในด้านสี กลิ่นกล้วยหอมเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมสูงกว่าสูตรขนมถ้วยฟูที่เติมสารแต่งกลิ่นรสกล้วยหอมสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2550

4872496323 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD : ENZYME / BANANA / SYRUP / FUNCTIONAL FOOD

SOMRUEDEE THAIPHANIT : ENZYME PROCESSING OF BANANA *Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel' SYRUP FOR FUNCTIONAL FOOD. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRANEE ANPRUNG Ph.D., 143 pp.

The objective of this research was to characterize the physicochemical changes that occur in 'Kluai Hom Thong' (*Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel') flesh at three ripening stages (stage 6-8) and study the production of banana syrup for functional food from 'Kluai Hom Thong' flesh by enzyme processing. It was found that the higher fresh ripe stage of banana at $p \leq 0.05$ has the following results; the antioxidant activities, moisture content, and reducing sugar are significantly increased. The titratable acidity, total soluble solid, and prebiotic activities score are significantly decreased. The total dietary fiber remains unchanged. Using SHA/GC/MS to characterize volatile compound found that the flavor 17 volatile compounds are varied on banana ripe state. At stage 7, it has maximum major flavor compounds, which consist of 3-Methylbutyl ester, 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester and Phenylmethyl ester. Moreover, the results from sensory evaluation show that the 'Kluai Hom Thong' flesh in the stage 7 has the most acceptable banana flavor and sweet taste. The data obtained suggests that stage 7 of the 'Kluai Hom Thong' flesh was found to be the most suitable raw material for banana syrup production. The effects of heat treatment and anti-browning agents on brown color of 'Kluai Hom Thong' pulp were evaluated. The suitable brown color is controlled by adding 0.50 % ascorbic acid (by varying citric acid and ascorbic acid, 0-3.00 %) and 5 minutes heating at 85 °C (by varying heat treatment 85 °C for 0-5 minutes). The recommended enzymatic treatment is Pectinex Ultra SP-L® at 1.5 % v/w for 3 hours (by varying commercial enzymes, Pectinex Ultra SP-L® or Sigma P4300®, enzyme concentration 0.5-1.5 % v/w, incubation time 0-12 hours at 32 ± 2 °C). The physicochemical characteristics of banana syrup production are high stability, rich flavor, 27.75% (db) dietary fiber, 8.49 μg DPPH/μg FM (or 421.42 mM TE/g FM) free radical-scavenging activity, prebiotic activity score for *Lactobacillus acidophilus* LA5 is -0.12, and *Bifidobacterium lactic* BB-12 is 0.3. Sensory evaluation on the 'Ka Nom Tuayfoo' making with the addition of the 20 % banana syrup gave good rating in color, banana flavor, texture and overall acceptability.

Department Food Technology Student's signature…….
Field of study Food Technology Advisor's signature……..
Academic year 2007

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และการช่วยเหลือในด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนกระตุ้นให้เกิดข้อคิด และคอยผลักดันให้ผู้วิจัยมีความเพียรพยายามในการทำวิจัย การหาความรู้เพิ่มเติม และการมีส่วนร่วมในการเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงและเสริมสร้างนิสัยการทำงานที่ดีแก่ผู้วิจัย อีกทั้งกรุณาแนะนำแนวทางในการดำเนินชีวิตด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยต่อไปในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล อ.ดร.ชื่นจิต ประกิตชัยวัฒนา อ.ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และ ผศ.ดร.พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรพรรณ อุดมกาญจนนันทร์ ดร.วราพร วิสุทธิ์ศรีมณีกุล และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัย และทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง GC-MS และให้คำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล และเจ้าหน้าที่ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องวัดขนาดอนุภาค และให้คำแนะนำทางด้านเทคโนโลยีอนุภาคที่เกี่ยวข้องต่องานวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากร และนิสิตภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาสละเวลามาเป็นผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส และคอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบเท้าขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบพระคุณพี่ชาย ที่คอยให้ความช่วยเหลือ เอาใจใส่ และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง อีกทั้งให้การสนับสนุน และส่งเสริมให้ผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ฎ
บทที่
1 บทนำ..... 1
2 วารสารปริทัศน์..... 3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกล้วยและกล้วยหอมทอง..... 3
2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมทอง..... 7
2.3 สารให้กลิ่นรสในเนื้อกล้วยหอม..... 11
2.4 คุณค่าทางอาหารของเนื้อกล้วยหอมทอง..... 13
2.5 เส้นใยอาหาร..... 16
2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ..... 22
2.7 การเกิดสีน้ำตาลคล้ำในผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอม..... 24
2.8 วิธีการควบคุม และยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมจากการทำงาน ของเอนไซม์ PPO..... 25
2.9 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมการแปรรูปกล้วยหอม..... 26
2.10 วัตถุเจือปนอาหาร..... 35
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 38
3.1 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์..... 38
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 41
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 54
4.1 ลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง..... 54
4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง..... 64
4.3 เลือกภาวะการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล..... 67
4.4 ประเมินภาวะในการผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะโดยใช้เอนไซม์..... 79

หน้า

บทที่

4.5 ลักษณะเฉพาะและสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้..... 93
4.6 การใช้ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร..... 98
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 100
รายการอ้างอิง..... 105
ภาคผนวก..... 115
ภาคผนวก ก..... 116
ภาคผนวก ข..... 124
ภาคผนวก ค..... 128
ภาคผนวก ง..... 129
ภาคผนวก จ..... 130
ภาคผนวก ฉ..... 132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 143

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณแป้ง และน้ำตาลในเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะต่างๆ..... 11

2.2 ปริมาณวิตามินที่พบในเนื้อกล้วยหอมทองสุก..... 13

2.3 องค์ประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามิน ในเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ..... 16

2.4 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มสารประกอบฟีนอลที่พบในเนื้อกล้วย..... 23

4.1 ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะต่างๆ..... 54

4.2 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะต่างๆ..... 56

4.3 เปรียบเทียบจำนวนประชากรของเซลล์แบคที่เรียที่เพิ่มขึ้นใน 24 ชั่วโมง เมื่อเลี้ยงในอาหาร MRS ที่มีกลูโคส หรือมีเนื้อกล้วยหอมสุกระยะต่างๆเป็นองค์ประกอบ..... 59

4.4 สารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะต่างๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS..... 63

4.5 คะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของเนื่อกล้วยหอมสุก ระยะต่างๆ..... 65

4.6 เปรียบเทียบสีจากค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (+b*) ในระบบสี L*a*b* ของเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล กับตัวอย่างควบคุม..... 71

4.7 สีของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 85

4.8 เสถียรภาพด้านการแขวนลอยของอนุภาค ของไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 91

4.9 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ ของไซรัปกล้วยหอม..... 94

4.10 จำนวนประชากรของเซลล์แบคที่เรียที่เพิ่มขึ้นใน 24 ชั่วโมง เมื่อเลี้ยงในอาหาร MRS ที่มีกลูโคส หรือมีเนื้อกล้วยหอมสุก หรือมีไซรัปกล้วยหอมเป็นองค์ประกอบ..... 95

4.11 คะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของขนมถ้วยฟูสูตรต้นแบบ และสูตรที่มีการใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณต่างๆ..... 98

ตารางที่ หน้า

5.1 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 101

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปร่างตามขวางของผลกล้วยที่มีความแก่ต่างกัน	4
2.2	อัตราการหายใจของผลไม้ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ	5
2.3	ระยะการสุกของกล้วยหอม	7
2.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ช ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณน้ำในเนื้อกล้วย และการทนแรงกลของผลกล้วย Giant Cavendish (AAA group) ที่ระยะต่างๆของการเก็บเกี่ยว	10
2.5	Gas chromatograms แสดงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นที่แยกได้จากผลกล้วยสดที่ระยะการสุกต่างๆ	14
2.6	ผนังเซลล์ของเนื้อกล้วยหอม *Musa* cv. Berangan [AAA]	27
2.7	ความเกี่ยวโยงของสารประกอบเพคตินกับเส้นใยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้	28
2.8	สูตรโครงสร้างปฐมภูมิของสารประกอบเพกทินซึ่งบางส่วนเกิดเอสเทอริไฟด์ด้วยเมทานอล	29
2.9	ปฏิกิริยาของเพคติเนสแต่ละชนิด	32
2.10	แอกทิวิตีของเอนไซม์เพคติเนส ที่อุณหภูมิต่างๆ pH 3.5	33
2.11	แอกทิวิตีของเอนไซม์เพคติเนส ที่ pH ต่างๆ อุณหภูมิ 20° C	33
3.1	ขั้นตอนการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด	47
3.2	ขั้นตอนการแปรรูปด้วยเอนไซม์สำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ	49
4.1	แอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของเนื้อกล้วยหอมสุกในระยะต่างๆ	60
4.2	Chromatogram ของสารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะ 6 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS	60
4.3	Chromatogram ของสารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะ 7 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS	61
4.4	Chromatogram ของสารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะ 8 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS	61
4.5	QDA display แบบใยแมงมุมของเนื้อกล้วยหอมสุกระยะต่างๆ	66
4.6	สีเนื้อกล้วยหอมบดที่ไม่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Control) และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12$\pm$1° C) นาน 7 วัน	68

รูปที่ หน้า

4.7 เปรียบเทียบสีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ด้วยกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิค ที่ความเข้มข้นต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน..... 68
4.8 สีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยความร้อน นาน 3 นาที และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน..... 69
4.9 เปรียบเทียบสีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วย ความร้อนนาน 3 นาที ร่วมกับกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิค ที่ความเข้มข้นต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน..... 69
4.10 สีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยความร้อน นาน 5 นาที และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน..... 70
4.11 เปรียบเทียบสีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วย ความร้อนนาน 3 นาที ร่วมกับกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิค ที่ความเข้มข้นต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน..... 70
4.12 ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดยภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็นนาน 7 วัน..... 77
4.13 ค่าเฉลี่ยสีเหลือง (+b*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดยภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็นนาน 7 วัน..... 78
4.14 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีของขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอม จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 80
4.15 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นกล้วยหอม และกลิ่นรสแปลกปลอม (Off-flavor) ของขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 81
4.16 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานของขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอม จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 82
4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 86
4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 87

รูปที่ หน้า

4.19 การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของไซรัปกล้วยหอม
ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 89
4.20 การแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอม..... 90
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าการกรองได้ของไซรัปกล้วยหอม
ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 92
4.22 แอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของไซรัปกล้วยหอม..... 96
4.24 Chromatogram ของสารระเหยได้จากไซรัปกล้วยหอม
วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS..... 96

บทที่ 1

บทนำ

อาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ (Functional food) หมายถึงอาหารที่มีองค์ประกอบตามธรรมชาติ เช่น เส้นใยอาหาร สารพรีไบโอติก และสารต้านอนุมูลอิสระ อาหารที่มีหน้าที่เฉพาะได้รับความสนใจในกลุ่มนักวิจัยเพื่อยกระดับคุณภาพของอาหารจากพืชผลไม้ท้องถิ่นที่มีสารประกอบดังกล่าว รวมทั้งสารให้สี และกลิ่นรสเฉพาะ โดยอาศัยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กล้วยหอมพันธุ์หอมทองเป็นผลไม้เศรฐกิจกลุ่มที่สำคัญกลุ่มหนึ่งของประเทศไทย ที่ได้รับการพัฒนาและส่งเสริมการปลูกต่อเนื่อง โดยจากปี 2545 ถึงปี 2549 ประเทศไทยมีมีพื้นที่เพาะปลูกกล้วยหอมเพิ่มขึ้นจาก 57,000 ไร่ เป็น 96,000 ไร่ และได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 143,000 ตัน เป็น 230,000 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) อย่างไรก็ตามจากสถิติการส่งออกปี 2545 ถึงปี 2549 พบว่าประเทศไทยส่งออกผลกล้วยหอมพันธุ์หอมทองลดลงจาก 5,212 ตัน เหลือ 2,428 ตัน (กรมศุลกากร, 2550) จากปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นสวนทางกับปริมาณการส่งออกที่ลดลง ทำให้ผลกล้วยหอมสดที่จำหน่ายภายในประเทศมีปริมาณมากเกินความต้องการของผู้บริโภค และส่งผลให้ราคาที่เกษตรกรขายได้ลดลงจาก 5.80 บาทต่อกิโลกรัมในปี 2545 เหลือ 3.15 บาทต่อกิโลกรัมในปี 2549 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) อย่างไรก็ตามกล้วยหอมเป็นผลไม้มีกลิ่นหอมเย็น และมีรสชาติชวนให้บริโภค กลิ่นหอมเย็นของเนื้อกล้วยหอมเป็นสารประกอบในกลุ่ม Isopentyl acetate และ Isobutyl acetate เป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งในเนื้อกล้วยหอมมีวิตามิน A B_6 และ C นอกจากนี้เนื้อกล้วยหอมยังเป็นแหล่งสำคัญของเส้นใยอาหารกลุ่มสารประกอบเพกทิน กลุ่มพรีไบโอติก ได้แก่ อินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งจะถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์โดยแบคทีเรียในลำไส้ และดูดซับน้ำได้ดี เมื่อเนื้อกล้วยหอมอยู่ในกระเพาะอาหารจะทำให้มีความรู้สึกอิ่มได้นาน และเมื่ออยู่ในลำไส้เล็กจะทำให้ร่างกายต้องใช้เวลาในการดูดซึมสารอาหารนานขึ้น สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และลดโอกาสที่จะเป็นมะเร็งลำไส้ อีกทั้งเนื้อกล้วยหอมยังเป็นแหล่งสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ทั้งในกลุ่มวิตามิน กลุ่มแคโรทีนอยด์ และกลุ่มสารประกอบฟีนอล แต่ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อกล้วยหอมที่มีในปัจจุบัน เช่น กล้วยหอมทอด กรอบปรุงรส กล้วยหอมผง และน้ำเชื่อมกล้วยหอม ยังขาดคุณสมบัติที่สำคัญในการเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการทำลาย หรือการกำจัดองค์ประกอบตามธรรมชาติที่มีหน้าที่เฉพาะของเนื้อกล้วยหอมออกไป

จากมูลฐานด้านลักษณะเด่นของกล้วยหอมในประเทศไทยดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นแนวทางการแปรรูปกล้วยหอม โดยใช้กระบวนการทางเอนไซม์ผลิตไซรับกล้วยหอมที่มีเส้นใยอาหารทั้งในกลุ่มเพกทิน และกลุ่มพรีไบโอติก มีสี และกลิ่นหอมเย็นตามธรรมชาติของเนื้อกล้วยหอมสุก เป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ สามารถนำไปเสริมในอาหาร และผลิตภัณฑ์ที่มีกล้วยหอมเป็นส่วนองค์ประกอบได้ โดยกำหนดนิยามของไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ คือ ของเหลว เนื้อเนียน สีเหลือง ทำจากเนื้อกล้วยหอมบด มาผ่านเทคนิคการเตรียม และเทคโนโลยีการควบคุมการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

งานวิจัยนี้ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมในระหว่างการสุก เพื่อทดลองหาระยะการสุกที่เหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นไซรัปกล้วยหอม หากระบวนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด กระบวนการแปรรูปด้วยเทคโนโลยีเอนไซม์เพคติเนสทางการค้า วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ และการทดลองใช้เป็นสารปรุงแต่งสี กลิ่นรสกล้วยหอม และใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมไทย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกล้วย และกล้วยหอมทอง

2.1.1 กล้วย

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จัดอยู่ในวงศ์ Musaceae อันดับ Scitamineae หรือ Zingiberales พืชที่อยู่ในอันดับนี้ทั้งหมดเป็นพืชที่ต้องการอากาศร้อนชื้น และกึ่งร้อน สำหรับ Musaceae เป็นกล้วยที่ปลูกกันมาก มี 2 สกุล คือ *Ensete* และ *Musa* กล้วยในสกุล *Ensete* ลำต้นไม่มีการแตกหน่อ ผลรับประทานไม่ได้ และกล้วยในสกุล *Musa* ลำต้นมีการแตกหน่อ ผลรับประทานได้ กล้วยในสกุล *Musa* แบ่งออกเป็น 5 หมู่ คือ Australimusa, Callimusa, Eumusa, Rhodochlamys และ Ingentimusa กล้วยรับประทานได้ที่จัดอยู่ในหมู่ Eumusa สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มโดยดูจากจำนวนชุดของโครโมโซม และยีโนมเป็นหลัก ได้เป็น AA, AAA, AB, AAB, ABB, ABBB, BB, และ BBB กล้วยในกลุ่ม AAA แยกออกเป็นกลุ่มเล็กๆอีก 3 กลุ่ม คือ กรอสมิเชล คาเวนดิช และกล้วยครั่ง กล้วยนาก ‘Red’ or ‘Green Red’ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) สำหรับพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหักมุก (พานิชย์ ยศปัญญา, 2541)

2.1.2 กล้วยหอมทอง

กล้วยหอมทอง มีชื่อสามัญ Hom Thong Banana ชื่อพ้อง กล้วยหอม และมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa acuminata* AAA Group ‘Gross Michel’ กล้วยหอมทองมีลำต้นเทียมสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน และมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้าง และมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อผลสุกผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุกจะเปลี่ยนสีภายหลัง มีกลิ่นหอม และมีรสหวาน กล้วยหอมทองเป็นกล้วยพันธุ์หนึ่งที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในปัจจุบัน และได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศมาก (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

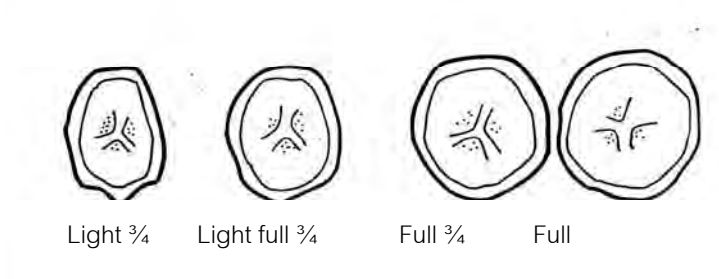
2.1.3 วัยของผลกล้วยหอมทอง

การพิจารณาว่าผลไม้ได้เจริญมาถึงวัยที่สามารถเก็บเกี่ยวได้หรือยัง เป็นสิ่งสำคัญ ถ้าหากเก็บเกี่ยวผิดวัยแล้ว ผลิตผลที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ การเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทองมักจะเก็บเมื่อกล้วยมีความแก่ หรือวัยต่างๆกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับตลาด ถ้าหากต้องมีการขนส่งไปยังที่ไกลๆ หรือเพื่อการส่งออกที่ต้องใช้เวลานาน เช่น ตลาดต่างประเทศจะเก็บเกี่ยวเมื่อผลกล้วยหอมทองยังมีเหลี่ยม หมายถึงกล้วยยังไม่แก่จัด มีความแก่ประมาณ 70-80% (light full ¾) ถ้าต้องส่งไปต่างจังหวัดภายในประเทศควรเก็บเมื่อแก่ค่อนข้างเต็มที่ (full ¾) มีเหลี่ยมไม่ค่อยเด่นชัด มีความแก่ประมาณ 85-90% ซึ่งจะสุกภายใน 1-2 สัปดาห์ แต่ถ้าส่งตลาดภายในจังหวัด หรือบริเวณใกล้ๆ ควรเก็บเมื่อแก่เต็มที่ หรือไม่มีเหลี่ยมเลย (full) ซึ่งจะสุกภายในไม่ถึงสัปดาห์ มาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วย ดังนี้

Full	หมายถึง ผลกล้วยที่ไม่มีเหลี่ยมเลยเรียกว่าแก่เต็มที่ 100%
Full ¾	หมายถึง ผลกล้วยที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ค่อยชัดเจน มีความแก่ประมาณ 90%
Light Full ¾	หมายถึง ผลกล้วยมีเหลี่ยมเห็นชัด มีความแก่ประมาณ 80%
Light ¾	หมายถึง ผลกล้วยมีเหลี่ยมชัดเจนมาก มีความแก่ประมาณ 70%

(รูปที่ 2.1)

การเก็บเกี่ยวมักจะทำที่ความแก่ประมาณ 85% จะได้กล้วยที่มีรสชาติดี เนื่องจากความอ่อนแก่ของผลกล้วยหอมที่เก็บเกี่ยว มีผลโดยตรงต่อรสชาติ

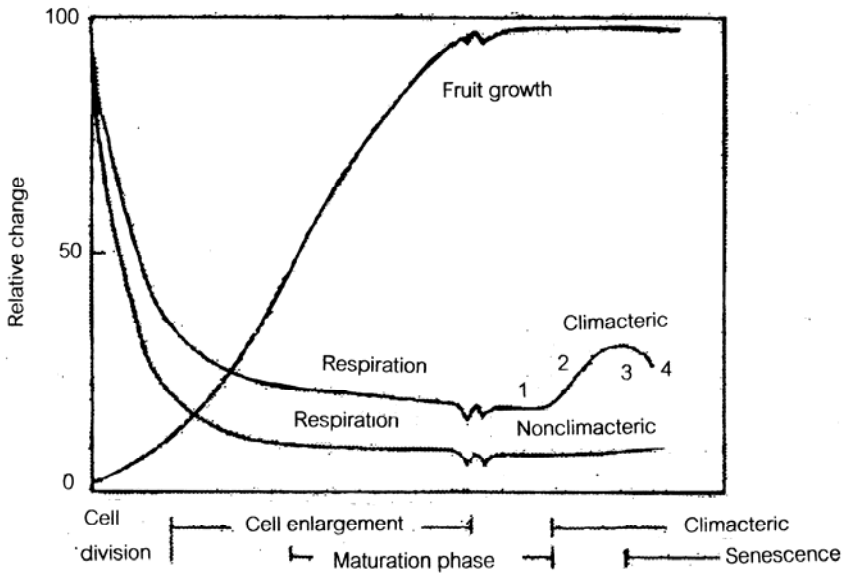


รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางขวางของผลกล้วยที่มีวัยต่างกัน

ดัดแปลงจาก: เบญจมาศ ศิลาย้อย (2545)

2.1.4 การบ่มกล้วยหอมทอง

กล้วยหอมทองเป็นผลไม้ประเภท Climacteric คือ มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว และต้องการเอทิลีนมาช่วยกระตุ้นให้เกิดการสุก ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ (1) Pre-climacteric (2) Climacteric rise (3) Climacteric peak และ (4) Post-climacteric (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 อัตราการหายใจของผลไม้ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ
(1- Pre climacteric, 2- Cjimacteric rise, 3- Climacteric peak,
4- Post climacteric) ดัดแปลงจาก: Salisbury และ Ross (1985)

จากรูปที่ 2.2 ในระยะ Cell division และ Cell enlargement ผลไม้จะมีการเจริญเติบโต ผลมีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดการสะสมสารอาหารต่างๆ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะเต็มวัย (maturation phase) จะหยุดการเจริญเติบโต เป็นระยะที่ผลมีการเจริญเต็มที่แล้ว และเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว จากนั้นผลไม้จะเข้าสู่ระยะ Climacteric มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลง ซึ่งเรียกระยะนี้ว่า Post climacteric หลังจากนั้นผลไม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี มีผลให้ผลไม้สุกงอม เกิดการเสื่อมสลาย และเน่าเสีย เรียกว่าระยะ Senescence (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993) ดังนั้นผลไม้ประเภทนี้ หลังจากการ

เก็บเกี่ยวแล้วสามารถนำมาบ่มให้สุกได้ด้วยเอทิลีน ซึ่งอาจเกิดจากภายในผลไม้เอง หรือเอทิลีนนี้อาจได้จากภายนอกในรูปของสารละลาย หรือแก๊สก็ได้ และเมื่อกล้วยหอมสุกจะมีการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก มีเนื้อในนุ่ม และมีกลิ่นหอมในระยะที่กล้วยหอมสุกเต็มที่

กล้วยหอมทองจะต้องผ่านการบ่มก่อน เนื่องจากการบ่มจะช่วยให้มีสีเหลืองสม่ำเสมอ โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ หรือถ่านแก๊สก้อนเล็กๆห่อด้วยกระดาษ ใส่ลงไปในภาชนะสานที่วางกล้วยเรียงไว้แล้ว หรืออาจเป็นโอ่งก็ได้ ถ่านแก๊สจะดูดความชื้นที่ได้จากการคายน้ำของผลกล้วยหอมทอง ทำให้เกิดแก๊สเอทิลีนที่จะไปบ่มให้กล้วยหอมทองสุก มีผลให้สีของเปลือกกล้วยหอมทองเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองสม่ำเสมอภายใน 1-3 วัน นอกจากจะใช้ถ่านแก๊สแล้ว การใช้สารละลายเอทิลีนความเข้มข้น 500-1000 ppm พ่นที่ผลกล้วยหอมทองแล้วหุ้มด้วยถุงพลาสติกเก็บไว้ 1 วัน จากนั้นเปิดให้มีอากาศถ่ายเท กล้วยจะสุกภายใน 1-3 วัน อย่างไรก็ตามกล้วยหอมทองที่ขายในประเทศมักจะเก็บเมื่อแก่เต็มที่ เมื่อปล่อยทิ้งไว้ในที่ๆมีอากาศถ่ายเทก็สามารถสุกได้เองตามธรรมชาติ แต่การสุกไม่พร้อมกัน กล่าวคือกล้วยหอมหวีด้านบนจะสุกก่อน และทะยอยลงมาด้านล่าง ดังนั้นการบ่มจะช่วยให้ทุกผลสุกพร้อมๆกัน สีเปลี่ยนเป็นสีเหลืองสดใสสม่ำเสมอทั่วทั้งผล โดยที่ปลายผลยังมีสีเขียว และจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีเหลืองภายหลัง

2.1.5 ระยะการสุกของกล้วยหอม

Stover และ Simmonds (1987) ได้แบ่งระยะการสุกของกล้วยออกเป็น 8 ระยะ ตามการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกกล้วยหอม ดังนี้ (รูปที่ 2.3)

ระยะที่ 1 เปลือกกล้วยมีสีเขียว ผลแข็ง

ระยะที่ 2 เปลือกกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลือง

ระยะที่ 3 เปลือกกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เปลือกกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

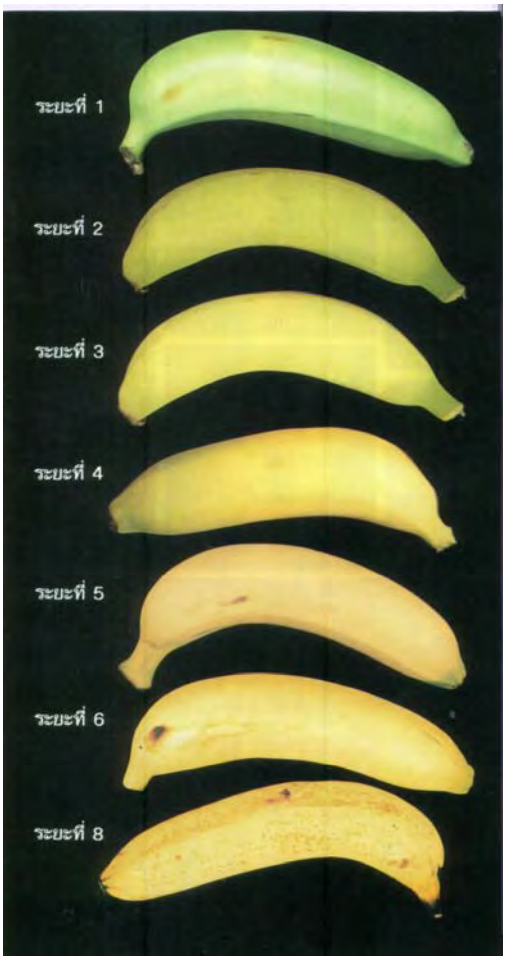
ระยะที่ 5 เปลือกกล้วยเป็นสีเหลือง แต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 เปลือกกล้วยมีสีเหลืองทั่ว กล้วยระยะนี้จัดเป็นกล้วยสุก

ระยะที่ 7 เปลือกกล้วยมีสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาล กล้วยระยะนี้จัดเป็นกล้วยสุกเต็มที่

ระยะที่ 8 เปลือกกล้วยมีสีเหลือง และมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น กล้วยระยะนี้จัดเป็นกล้วยสุกมากเกินไป

ในช่วงการสุกของกล้วย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และทางกายภาพต่างๆ ส่งผลให้ผลกล้วยมีกลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลงไป โดยกล้วยที่นำออกจำหน่าย และเหมาะสำหรับการบริโภคสดจะอยู่ในระดับ 6 และ 7 (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)



รูปที่ 2.3 ระยะการสุกของกล้วยหอม
ที่มา: เบญจมาศ ศิลาย้อย (2545)

2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมทอง

2.2.1 ความชื้น

ความชื้นของเนื้อกล้วยหอมทองจะเพิ่มขึ้นในระหว่างที่กล้วยหอมทองสุก โดยมีสาเหตุมาจากกระบวนการหายใจที่มีการสลายโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตได้เป็นน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ (John และ Marchal, 1995)

2.2.2 แป้ง และน้ำตาล

เมื่อกล้วยหอมทองมีการเจริญเติบโตเต็มที่จะสะสมแป้งไว้ในผลมาก แต่หลังการเก็บเกี่ยวผลกล้วยหอมทองมีอัตราการหายใจสูงขึ้น แป้งที่สะสมไว้จะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล โดยการทำงานของเอนไซม์ ส่งผลให้เนื้อกล้วยหอมทองมีปริมาณแป้งลดลง และมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993; เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

2.2.3 กรดอินทรีย์

การหายใจของกล้วยหอมทองจากระยะที่ 1 ไปจนถึงระยะที่กล้วยหอมทองสุกยังคงอยู่และเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลให้ปริมาณกรดอินทรีย์ต่างๆในเนื้อกล้วยหอมทอง เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในวัฏจักร Krebs ของกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณกรดลดลงเมื่อผลกล้วยหอมทองสุก รวมทั้งค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993)

2.2.4 สารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

สารประกอบเพกทินในเนื้อกล้วยหอมทองจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก และพบว่าในเนื้อกล้วยหอมทองสุกจะมีสารประกอบเพกทินอยู่ประมาณ 0.7-1.1% (วิจิตร วังใน, 2530) การที่เนื้อกล้วยมีปริมาณเพกทินมากขึ้น ในขณะที่มีโปรโตเพกทินลดลง จะทำให้เนื้อกล้วยนิ่ม และอ่อนตัวมากขึ้น (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547) ส่วนปริมาณเซลลูโลส และมีเฮมิเซลลูโลสในเนื้อกล้วยจะลดลงเมื่อผลสุก (Grassin และ Fauquembergue, 1996) การอยู่รวมกันของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลสในเนื้อกล้วยหอมทอง จะทำให้เนื้อกล้วยหอมทองมีลักษณะคล้ายของเหลวข้น กักเก็บสารประกอบต่างๆ เช่น รงควัตถุ สารกลิ่นรส สารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

Sakai และคณะ (1993) ศึกษาปริมาณสารประกอบเพกทินในพืชชนิดต่างๆ พบว่า มีสารประกอบเพกทินปริมาณ 0.5-4.0 % ของน้ำหนักพืชสด และพบในผลกล้วย *Musa* spp. 0.7-1.2%

Prabha และ Bhagyalakshmi (1998) ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพกทินในกล้วย *Musa* spp. พบว่า ในช่วงระหว่างการสุกปริมาณเพกทินในเนื้อกล้วยจะลดลงจาก 1.1 % ไปเป็น 0.8 % ซึ่งสาเหตุหลักเกิดเนื่องจากเอนไซม์เพคติเนส ส่งผลให้เนื้อกล้วยนิ่ม

2.2.5 รงควัตถุ (Pigments)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี โดยเฉพาะกับสีเขียวจากคลอโรฟิลล์ โดยสีเขียวจะหายไป และเกิดสีเหลืองจากแคโรทีนอยด์ขึ้นแทน ซึ่งโดยปกติคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้น และเกิดการสลายไปตลอดเวลา แต่ในช่วงการสุก และการเสื่อมสลาย คลอโรฟิลล์จะเกิดการสลายไปได้มาก และหมดไปในที่สุด กล้วยดิบประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ 50-100 μg/g แซนโธฟิลล์ 5-7 μg/g และแคโรทีนอยด์ 1.5-3.5 μg/g แต่เมื่อกล้วยสุกจะไม่พบคลอโรฟิลล์ ในขณะที่ปริมาณแซนโธฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

2.2.6 **สารให้กลิ่นรส** (Flavor)

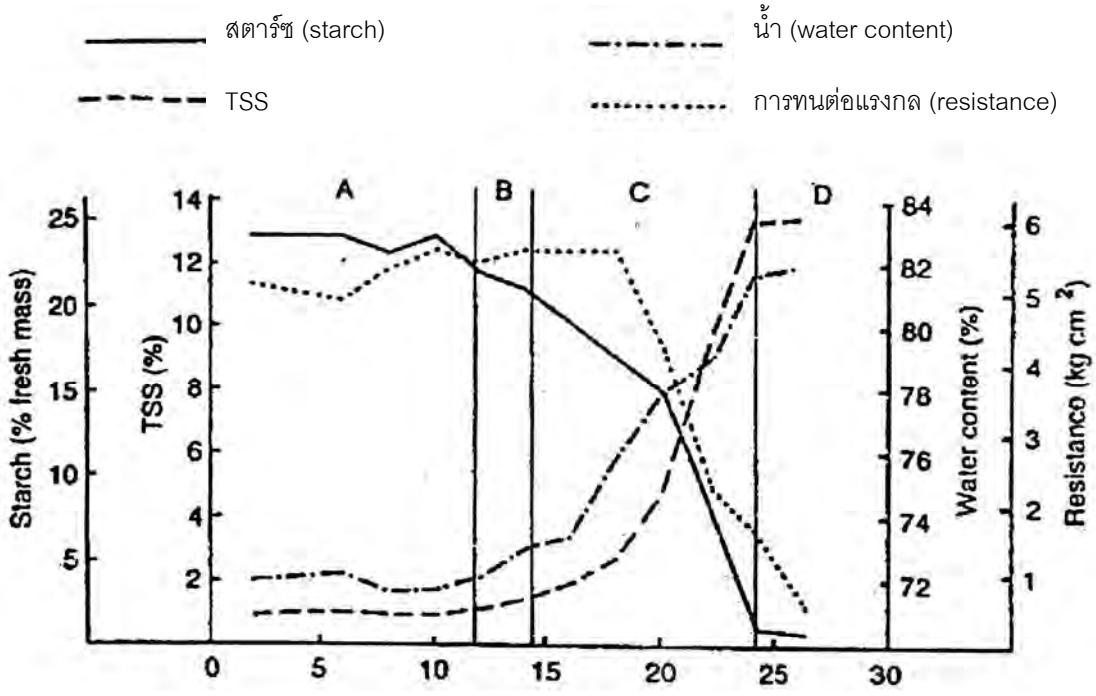
สารให้กลิ่นของกล้วยหอมถูกสร้างขึ้นในช่วงระหว่างการสุก ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว โดยเกิดขณะกล้วยมีอัตราการหายใจในช่วง Climacteric rise ถึง Climacteric peak ส่งผลให้กลิ่นรสของกล้วยหอมเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการสุก ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2.7 **แทนนิน และสารประกอบฟีนอล**

สารประกอบแทนนินที่พบในกล้วยที่สำคัญ คือ leuco-anthocycanidin, leuco-delphanidine และ leuco-cyanide ซึ่งทำให้เกิดรสฝาด ปริมาณสารประกอบแทนนินที่พบในกล้วยดิบ จะมากกว่าในกล้วยสุก และสารประกอบฟีนอลจะมีปริมาณลดลงเมื่อกล้วยสุก

Lii และคณะ (1982) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของเนื้อกล้วยในประเทศไต้หวันที่ระยะการสุกต่างๆ โดยแบ่งระยะการสุกจากสีของเปลือกเป็น 8 ระยะ พบว่าในระหว่างการสุกของผลกล้วยหอม ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนปริมาณเถ้าจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่สตาร์ชจะมีปริมาณลดลงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และซูโครสจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะการสุกที่เพิ่มขึ้น

John และ Marchal (1995) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ช ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณน้ำในเนื้อกล้วย และการทนต่อแรงกลของผลกล้วย Giant Cavendish (AAA group) ที่ระยะต่างๆของการเก็บเกี่ยว พบว่าระยะการสุกจะทำให้ปริมาณต่างๆ ที่ศึกษาเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยเนื้อกล้วยจะเริ่มนิ่มในระหว่างที่สตาร์ชเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ความเข้มข้นของสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นตามกิจกรรมของเอนไซม์ เปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเนื่องจากคลอโรฟิลส์สลายตัว และความหวานจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของน้ำตาลต่อสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้นตามระยะการสุกที่มากขึ้น



A: ก่อนระยะสุก เปลือกกล้วยมีสีเขียว เนื้อแข็ง

B: ระยะสุก

C: เปลือกกล้วยเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เนื้อเริ่มนิ่ม

D: ผลกล้วยสุกเต็มที่ และเริ่มเน่าเสีย

รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ช ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณน้ำในเนื้อกล้วย และการทนแรงกลของผลกล้วย Giant Cavendish (AAA group) ที่ระยะต่างๆของการเก็บเกี่ยว
ดัดแปลงจาก: John และ Marchal (1995)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง และน้ำตาลในเนื้อกล้วยหอมทองโดย Silayoi (1986) ได้ผลดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแป้ง และน้ำตาลในเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะต่างๆ

ระยะการสุก	ปริมาณ (%)	
	แป้ง	น้ำตาล
1	21.1	0.8
2	18.4	2.7
3	16.1	4.8
4	12.5	8.2
5	6.8	13.2
6	3.3	17.6
7	2.4	18.5
8	1.3	19.9

ดัดแปลงจาก: Silayoi (1986)

2.3 สารให้กลิ่นรสในเนื้อกล้วยหอม

สารให้กลิ่นรสของกล้วยหอมถูกสร้างขึ้นในช่วงระหว่างการสุก ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว โดยจะเกิดขณะที่กล้วยมีอัตราการหายใจในช่วง Climacteric rise ถึง Climacteric peak ส่งผลให้กลิ่นรสของกล้วยหอมเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการสุก กลิ่นรสกล้วยหอมเกิดจากสารที่สามารถระเหยได้ประมาณ 250 ชนิด (Nijssen และคณะ, 1996) โดยจำแนกเป็น 4 กลุ่มหลักๆ คือ เอสเทอร์ แอลกอฮอล์ กรด และคาร์บอนิล ดังนี้

2.3.1 สารให้กลิ่นรสกลุ่มเอสเทอร์

กลุ่มเอสเทอร์ ประกอบด้วยสารมากกว่า 100 ชนิด สารในกลุ่มนี้มีความสำคัญมากที่สุด โดยสารชนิดที่สำคัญคือ Acetates เนื่องจากมีความเข้มข้นสูง สารกลุ่มนี้จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอม โดยเฉพาะ Isopentyl acetate และ Isobutyl acetate ซึ่งมีปริมาณ 75 และ 47 ppm ตามลำดับ ในขณะที่ร่างกายมนุษย์สามารถเริ่มรับรู้ทางประสาทสัมผัสได้ที่ความ

เข้มข้น 2 และ 50 ppb ตามลำดับ สาร Acetates ที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ Ethyl acetate (200 ppm), 2-Pentyl acetate (10 ppm), Butyl acetate และ Hexyl acetate (4 ppm) นอกจากนี้ยังมีสาร Butanoates (Ethyl และ Isopentyl) ซึ่งพบปริมาณ 5 ppm และ Isopentyl isopentanoate พบปริมาณ 3 ppm (Tressl และคณะ,1972)

2.3.2 สารให้กลิ่นรสกลุ่มแอลกอฮอล์

สารกลุ่มแอลกอฮอล์มีความสำคัญเป็นอันดับสอง ประกอบด้วยสารที่สามารถระบุได้แล้ว 57 ชนิด โดยชนิดที่มีมากและมีความสำคัญคือ Isopentanol (1–12 ppm) 2-Pentanol (15 ppm) Isobutanol (8 ppm) และ Hexanol (2 ppm) (Jordán และคณะ, 2001)

2.3.3 สารให้กลิ่นรสกลุ่มกรด

กล้วยหอมทองอุดมไปด้วยกรดอินทรีย์ที่สามารระเหยได้ มีการรายงานไว้ว่ามีอยู่ 35 ชนิด (Tressl และคณะ, 1972) รวมทั้ง 6-Heptenoic acid และ 7-Octenoic acid ซึ่งเป็นกรดชนิดที่ไม่พบทั่วไปในผลไม้

2.3.4 สารให้กลิ่นรสกลุ่มคาร์บอนิล

สารกลุ่มคาร์บอนิล จำแนกเป็น แอลดีไฮด์ และคีโตน ประกอบด้วยสารประมาณ 30 ชนิด แอลดีไฮด์ที่มีปริมาณมาก คือ 2E-Hexenal (18 ppm (Tressl และคณะ, 1972) และ 32 ppm (Jordán และคณะ, 2001)) และ Hexanal (5 ppm (Tressl และคณะ, 1972) และ 22 ppm (Jordán และคณะ, 2001))

Myers, Issenberg และ Wick (1969) รายงานความแตกต่างของกลิ่นในกล้วย *Musa* spp. ที่ระยะการสุกต่างๆกัน พบว่า Isoamyl acetate, Amyl acetate, Amyl propionate และ Amyl butyrate เป็นสารที่ให้กลิ่นเหมือนกลิ่นกล้วย (banana-like) Butyl acetate, Butyl butyrate, Hexyl acetate และ Amyl butyrate เป็นสารที่ให้กลิ่นกล้วยแบบกลิ่นผลไม้ (fruity) Methyl acetate, Pentanone, Butyl alcohol, Amyl alcohol และ Hexyl alcohol เป็นสารที่ให้กลิ่นของกล้วยดิบ ซึ่งมีลักษณะของกลิ่นไม้ (woody) กลิ่นของพืชสีเขียว (green) หรือกลิ่นดิน (musty)

Tressel และ Jennings (1972) พบว่ากล้วย *Musa acuminata* มีองค์ประกอบของกลิ่นส่วนใหญ่เป็น Acetate ester และ Butyrate ester

Macku และ Jennings (1987) ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่สามารถระเหยได้ 17 ชนิด ระหว่างการสุกของกล้วย *Musa cavendishii* พบว่า มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเปลือกกล้วยมีสีน้ำตาล จากนั้นจะมีปริมาณลดลงเมื่อกล้วยสุกเต็มที่ ยกเว้น Ethyl acetate ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดการเน่าเสีย

Mayr และคณะ (2003) ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่สามารถระเหยได้ง่ายในเนื้อกล้วย *Musa acuminata* โดยพบว่า 2E-Hexenal และ Hexanal เป็นสารประกอบหลักในกล้วยดิบ Isopentyl และ Isobutyl acetate เป็นสารประกอบหลักในกล้วยสุก และทำให้เกิดกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ

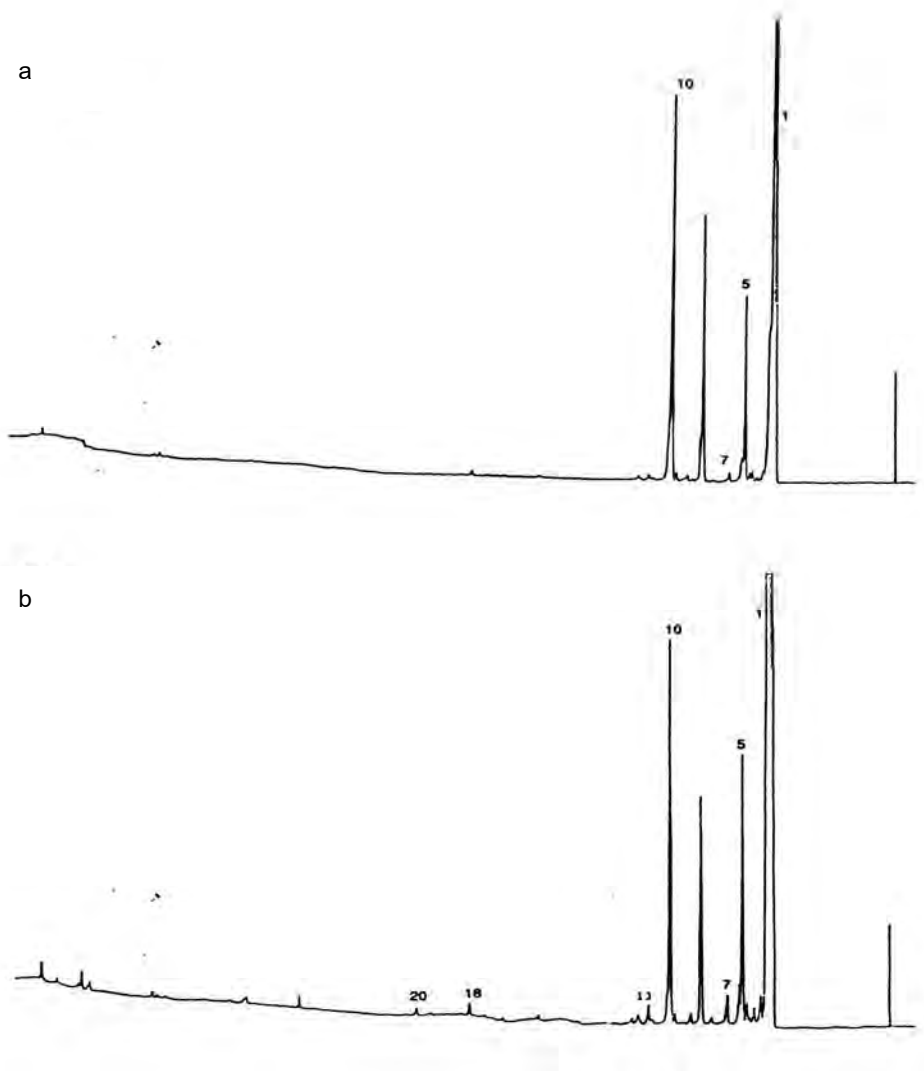
2.4 คุณค่าทางอาหารของเนื้อกล้วยหอมทอง

ผลกล้วยหอมทองสุกจะมีรสหวาน เป็นอาหารที่ย่อยง่าย มีไขมันต่ำ กล้วยหอมทองมีเกลือโซเดียมเพียงเล็กน้อย และมีโปแตสเซียมอยู่ประมาณ 400 มิลลิกรัม การมีโปแตสเซียมสูง จะช่วยลดความดันโลหิต และยังมีวิตามิน A, B_6 และ C อีกด้วย วิตามินที่พบในกล้วยหอมพันธุ์หอมทองแสดงดังตารางที่ 2.2 สำหรับคุณค่าทางอาหารอื่นๆของผลกล้วยหอมทอง และกล้วยชนิดอื่นๆในประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ปริมาณวิตามินที่พบในเนื้อกล้วยหอมทองสุก

วิตามิน	ปริมาณ (เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนัก100 กรัม)
A	3.8
C	13.3
B	25.0
Thiamine	3.3
Riboflavin	3.8
Niacin	4.3

ดัดแปลงจาก: Stover และ Simmonds (1987)

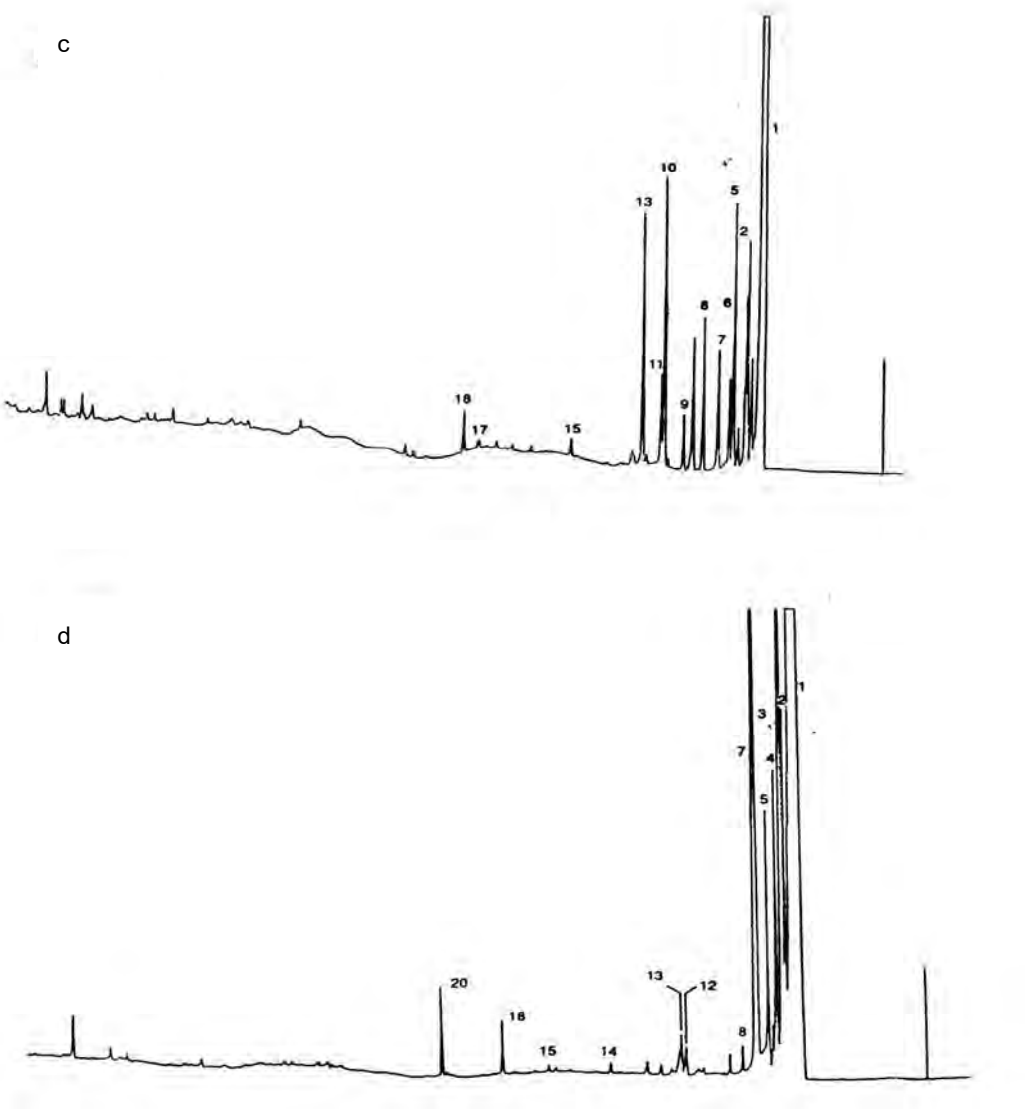


รูปที่ 2.5 Gas chromatograms แสดงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นที่แยกได้จากผลกล้วย *Musa* spp.สด ที่ระยะการสุกต่างๆ

(**a**) Underripe

(**b**) Ripe

(1, ethanol; 2, ethyl acetate; 3, isobutanol; 4, *n*-butanol; 5, 3-methylbutan-1-ol; 6, 2-pentanol; 7, 3-methylbutanol; 8, isobutyl acetate; 9, butyl acetate; 10, *trans*-2-hexanol; 11, ethyl 2-methyl butyrate; 12, hexanol; 13, 3-methyl butylacetate; 14, 2-heptanol; 15, isobutyl-*n*-butyrate; 16, *n*-butyl-*n*-butyrate; 17, butyl-2-methylbutyrate; 18, 3-methylbutylbutyrate; 19, 3-methylbutyl-2-methylbutyrate; 20, 3-methylbutyl-3-methylbutyrate) ดัดแปลงจาก: Taylor (2001)



รูปที่ 2.5 Gas chromatograms แสดงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น ที่แยกได้จากผลกล้วย *Musa* spp.สด ที่ระยะการสุกต่างๆ

(**c**) Well-ripened

(**d**) Overripe

(1, ethanol; 2, ethyl acetate; 3, isobutanol; 4, *n*-butanol; 5, 3-methylbutan-1-ol; 6, 2-pentanol; 7, 3-methylbutanol; 8, isobutyl acetate; 9, butyl acetate; 10, *trans*-2-hexanol; 11, ethyl 2-methyl butyrate; 12, hexanol; 13, 3-methyl butylacetate; 14, 2-heptanol; 15, isobutyl-*n*-butyrate; 16, *n*-butyl-*n*-butyrate; 17, butyl-2-methylbutyrate; 18, 3-methylbutylbutyrate; 19, 3-methylbutyl-2-methylbutyrate; 20, 3-methylbutyl-3-methylbutyrate) ดัดแปลงจาก: Taylor (2001)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามิน ในเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ (ต่อน้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม)

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยไข่	กล้วยเล็บมือนาง	กล้วยหอมทอง	กล้วยน้ำว้า	กล้วยหักมุก
ความชื้น (g)	70.66	68.6	77.19	69.02	72.03
ไขมัน (g)	0.84	0.3	0.73	0.76	0.83
โปรตีน (Nx6.25)	1.45	1.6	1.82	0.90	1.18
คาร์โบไฮเดรต (g)	18.41	28.5	18.42	22.21	16.49
เถ้า (g)	0.61	0.9	0.65	0.72	0.54
เส้นใย (g)	-	0.1	-	-	-
แคลเซียม (mg)	13.54	5.2	14.27	19.99	21.61
ฟอสฟอรัส (mg)	24.71	27.8	21.09	25.10	25.79
เหล็ก (mg)	6.71	0.50	8.71	11.39	8.27
ไทอามีน (mg)	-	0.06	-	-	-
ไรโบฟลาวิน (mg)	-	0.08	-	-	-
วิตามินอี (IU)	-	0.09	-	-	-
บีตาแคโรทีน (mg)	589.4	158	197.2	118.4	582.2
วิตามินเอ (IU)	-	264	-	281.4	278.5
วิตามินซี (mg)	16.91	-	11.06	18.35	14.99

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

ดัดแปลงจาก: เบญจมาศ ศิลาย้อย (2545)

2.5 **เส้นใยอาหาร** (Dietary fiber)

ในปัจจุบันพบว่าผู้คนในสังคมต่างมีชีวิตที่เร่งรีบ ส่งผลให้ผู้คนมีเวลาในการเลือกรับประทานอาหารน้อยลง และอาหารที่รับประทานส่วนใหญ่มักจะเป็นอาหารที่มีปริมาณกากใยต่ำ ถึงแม้เส้นใยอาหารจะไม่ใช่สารอาหารหลักก็ตามแต่ก็จำเป็นต่อระบบการย่อยอาหาร และระบบขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย

เส้นใยอาหาร หมายถึง กลุ่มของพอลีแซกคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในพืช และสาหร่ายบางชนิด ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส สารประกอบเพกทิน มิวซิเลจ และ กัม เป็นต้น ที่รับประทานได้ แต่ไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์ ทำให้ไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จึงผ่านกระเพาะอาหาร และลำไส้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยสลายส่วนประกอบบางส่วนของเส้นใยอาหารได้ (Spiller, Ahipley และ Blake, 1978; Baghurst และ Record, 1996; Thebaudin และคณะ, 1997)

2.5.1 เส้นใยอาหารกลุ่มทั่วไป

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหาร สามารถแบ่งเส้นใยอาหารตามการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble fiber) และ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber)

2.5.1.1 <u>เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้</u>

ได้แก่ เพกทิน กัม และ มิวซิเลจ ซึ่งจะถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์โดยแบคทีเรียในลำไส้ เส้นใยอาหารกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะเพิ่มความหนืดให้กับอาหาร เมื่ออยู่ในกระเพาะอาหารจะทำให้มีความรู้สึกอิ่มได้นาน (delay gastric emptying) และเมื่ออยู่ในลำไส้เล็กจะทำให้ร่างกายต้องใช้เวลาในการดูดซึมสารอาหารนานขึ้น ช่วยเพิ่มมวลของอุจจาระ ลดอาการท้องผูก (Gibson และ Roberfroid, 1995) นอกจากนี้เส้นใยอาหารประเภทนี้สามารถจับกับกรดน้ำดีได้ และป้องกันน้ำดีถูกดูดซึมกลับ ทำให้ร่างกายต้องสร้างน้ำดีขึ้นชดเชยจากคอเลสเตอรอล ซึ่งจะทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง นำไปสู่การป้องกันและบำบัดโรคต่างๆได้ เช่น ภาวะไขมันในเลือดสูง ภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด (Prosky และ deVries, 1991; Reddy, Hamid และ Rao, 1997) และลดโอกาสที่จะเป็นมะเร็งลำไส้ (ดุษณี สุทธปรียาศรี, 2533) เป็นต้น พืชตระกูลถั่วต่างๆ รำข้าวโอ๊ต เมล็ดของพืชต่างๆ และผลไม้ จะมีเส้นใยอาหารชนิดนี้สูง

2.5.3.2 <u>เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ</u>

ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส แบคทีเรียในลำไส้สามารถย่อยเส้นใยอาหารเหล่านี้ได้บางส่วน เส้นใยกลุ่มนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณกากในลำไส้ใหญ่ และช่วยลดอาการท้องผูก (Prosky และ deVries, 1991; ศศิธร พรหมเมตจิตและคณะ, 2534) เส้นใยอาหารประเภทนี้จะมีจำนวนมากในรำธัญพืชต่างๆ เช่น รำข้าวสาลี และถั่วต่างๆ โดยเฉพาะถั่วเปลือกแข็ง

2.5.2 **เส้นใยอาหารกลุ่มพรีไบโอติก**

พรีไบโอติก คือ เส้นใยอาหารจากธรรมชาติซึ่งไม่ถูกย่อยที่ลำไส้ส่วนต้น แต่ถูกส่งไปยังลำไส้ใหญ่เพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์สุขภาพ ทำให้จุลินทรีย์สุขภาพเจริญ และเพิ่มปริมาณมากขึ้น ส่งผลต่อการรักษาสมดุลของระบบนิเวศน์ของจุลินทรีย์สุขภาพ (probiotic) ในทางเดินอาหาร

จุลินทรีย์สุขภาพ คือ จุลินทรีย์ที่มีชีวิต ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ และใช้รับประทานเพื่อให้เข้าไปช่วยปรับสมดุลของภาวะแวดล้อมของระบบทางเดินอาหารมนุษย์ และสัตว์ ได้แก่ *Lactobacillue acidophilus* และ *Bifidobacterium lactis* จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดเป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้มนุษย์ตามธรรมชาติอยู่แล้ว และมีคุณสมบัติโพรไบโอติกที่ดีเยี่ยม คือ มีความทนทานต่อกรดในกระเพาะอาหาร และด่างในลำไส้เล็ก ทำให้สามารถเคลื่อนผ่านไปจนถึงลำไส้ส่วนล่างได้ ขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ และมีปริมาณมาก (10^6 ตัว) พอที่จะสร้างประโยชน์ให้แก่ร่างกาย เมื่อลงไปถึงลำไส้ จะเกาะจับอยู่ที่เยื่อบุลำไส้ กลายเป็นตัวป้องกันอีกชั้นหนึ่ง ทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคไม่สามารถเกาะ และฝังตัวที่เยื่อบุลำไส้เพื่อเข้าสู่ผนังลำไส้ได้ ให้ผลผลิตประเภทกรดอินทรีย์ และสารแอนตีไบโอติกซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค จุลินทรีย์เหล่านี้ ยังจะช่วยย่อยน้ำตาลแลคโตสในนม แก้ปัญหาท้องเสีย ท้องอืด ให้กับผู้ที่ดื่มไม่ได้ ช่วยย่อยโปรตีนในนม ช่วยกระตุ้นให้ร่างกายดูดซึมสารอาหาร เช่น แคลเซียม และเหล็กได้ดีขึ้น ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันตามธรรมชาติของร่างกายมนุษย์ อันจะส่งผลให้สุขภาพแข็งแรง ไม่เจ็บป่วยง่าย และช่วยให้ระบบขับถ่ายทำงานได้ดี โดยช่วยให้อุจจาระนิ่ม ท้องไม่ผูก นอกจากนี้ *Bifidobacterium lactis* ยังสามารถผลิตวิตามินบีต่างๆ ได้อีกด้วย (พรรณทิพา วิเชียรสรรค์, 2550)

ความเครียด และการรับประทานอาหารที่มีไขมัน น้ำตาล โปรตีน และแอลกอฮอล์ปริมาณสูง รวมทั้งการรับประทานยาปฏิชีวนะเป็นประจำ สามารถทำให้ความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารเสียไปได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพในระบบทางเดินอาหาร โดยการรับประทานอาหารที่มีจุลินทรีย์สุขภาพเป็นส่วนประกอบ เช่น โยเกิร์ต และนมผงสำหรับเด็ก เป็นต้น นอกจากนี้การรับประทานอาหารจากธรรมชาติที่มีสารพรีไบโอติกชนิดต่างๆ เช่น อินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้จุลินทรีย์สุขภาพเจริญเติบโตได้ดี (สังคม จงพิพัฒน์วณิชย์, 2546)

2.5.2.1 <u>ชนิดของพรีไบโอติก</u> (Roberfroid และ Delzenne, 1998)

ก. อินนูลิน

เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่ม Fructan (กลุ่มที่เป็นพอลิเมอร์ฟรุกโตสซึ่งมีกลูโคสที่ปลายสายของโมเลกุล) มีพันธะ ß (2-1) ระหว่างฟรุกโตสแต่ละหน่วย มีความยาวของสาย หรือ

DP ตั้งแต่ 2-60 ความยาวของสายจะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มาของพืช อากาศ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และภาวะหลังการเก็บเกี่ยว สามารถพบได้ในพืชหลายชนิด

ข. โอลิโกฟรุกโตส

ได้มาจากการใช้เอนไซม์มาไฮโดรไลซ์โมเลกุลอินนูลิน มีความยาวของสายหรือ DP ตั้งแต่ 2-10 มีความหวานประมาณ 30-60% ของน้ำตาลซูโครส

ค. ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

เป็นพอลิเมอร์ฟรุกโตสซึ่งมีกลูโคสที่ปลายสายของโมเลกุล มีความยาวของสาย หรือ DP น้อยกว่า 5 ส่วนใหญ่ได้มาจากการหมักโดยธรรมชาติของน้ำตาลจากต้นอ้อย

ง. แป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ (Enzyme-resistant starch หรือ Resistant starch)

หมายถึงแป้ง และผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ และจะไม่ถูกดูดซับในลำไส้เล็ก จัดเป็นสารพอลิแซกคาร์ไรด์ซึ่งประกอบด้วยแอมิโลส (amylose) ประมาณ 20-25 %

สารพรีไบโอติกชนิดต่างๆ สามารถพบได้ในพืชมากกว่า 36,000 ชนิด โดยปริมาณที่พบในพืชจะแตกต่างกันไปตามชนิด และส่วนของพืช (Carpita, Kanabus และ Housley, 1989) แต่พรีไบโอติกทั้ง 4 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้น เป็นชนิดที่มีการศึกษากันมาก และมีการนำมาใช้เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหารมนุษย์ (Van และคณะ, 1995)

2.5.2.2 <u>ประโยชน์ของพรีไบโอติก</u>

พรีไบโอติกจะทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของ Bifidobacteria และ Lactobacillus ในลำไส้ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโทษ (Bouhnik และคณะ, 1994; Gibson และ Roberfroid, 1995) กระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกาย และช่วยในการดูดซึมไอออน และวิตามิน B_2

ผลจากการหมักพรีไบโอติกโดยจุลินทรีย์สุขภาพจะได้กรดไขมันสายสั้น ที่จะทำให้ pH ในระบบทางเดินอาหารลดลง และไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น Coliform, Bacteroides, Clostridia และ Furobacteria เป็นต้น (Ceirwyn, 1995) นอกจากนี้ผลของ pH ที่ลดลง จะเพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี เหล็ก และฟอสเฟต ช่วยป้องกันการเกิดโรคกระดูกพรุน (Coudray และคณะ, 1997) และลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง โดยการกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคก่อนที่มันจะผลิตเมแทบอไลท์ที่เป็น Procarcinogen (Gallagher และคณะ, 1996)

จากการที่พรีไบโอติก เช่น อินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโก-แซคคาไรด์ มีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร จะช่วยลดระยะเวลาที่อุจจาระอยู่ในลำไส้ เพิ่มมวลของอุจจาระ ลดอาการท้องผูก (Gibson และ Roberfroid, 1995) ช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์ และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดนำไปสู่การป้องกันและบำบัดโรคต่างๆได้ เช่น ภาวะไขมันในเลือดสูง ภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด (Prosky และ deVries, 1991; Reddy, Hamid และ Rao, 1997) และลดโอกาสที่จะเป็นมะเร็งลำไส้ (ดุษณี สุทธปรียาศรี, 2533) นอกจากนี้พรีไบโอติก เช่น อินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์มีแคลอรีต่ำ จึงสามารถนำมาใช้ทดแทนไขมัน หรือน้ำตาลเพื่อลดแคลอรีในอาหารได้

ปริมาณพรีไบโอติกที่แนะนำให้รับประทาน ที่ส่งผลดีต่อระบบทางเดินอาหาร คือ 4 ถึง 5 กรัมต่อวัน (Van และคณะ, 1995)

2.5.2.3 <u>ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก</u> (Prebiotic activity score)

คาร์โบไฮเดรตที่เป็นสารพรีไบโอติก เช่น อินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโต-โอลิโกแซคคาไรด์ ถือว่าเป็นสารที่ส่งผลดีต่อร่างกายมนุษย์ เนื่องจากจะช่วยส่งเสริมกิจกรรม และการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ เช่น Lactobacilli และ Bifidobacteria สายพันธุ์ต่างๆ และช่วยจำกัดจำนวนแบคทีเรียอื่นๆในลำไส้ใหญ่ (Gibson and Roberfroid, 1995) แต่เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตที่เป็นสารพรีไบโอติกแต่ละชนิด จะส่งผลต่อจุลินทรีย์สุขภาพแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดค่าความสามารถ หรือค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก โดยดูจากประชากรจุลินทรีย์ อัตราการเจริญ ปริมาณซับสเตรตที่ลดลง หรือปริมาณกรดไขมันสายสั้นที่ถูกสร้างขึ้น อย่างไรก็ตามค่าค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกที่ได้จะขึ้นกับสายพันธุ์ของจุลินทรีย์สุขภาพด้วย

สำหรับการวัดค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก จากการเปรียบเทียบความสามารถของสารพรีไบโอติกในการส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ เช่น Lactobacilli และ Bifidobacteria สายพันธุ์ต่างๆ และแบคทีเรียชนิดอื่นในระบบทางเดินอาหาร เช่น *E. coli* กับสารที่ไม่ได้เป็นสารพรีไบโอติก เช่น กลูโคส สารที่นำมาทดสอบจะมีค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกสูง หรือเป็นสารพรีไบโอติกที่ดี ถ้ามีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์สุขภาพได้ดีกว่าสารที่ไม่ได้เป็นสารพรีไบโอติก แต่ในขณะเดียวกัน ต้องไม่ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียอื่นในระบบทางเดินอาหาร (Huebener, Wehling และ Hutkins, 2007)

UshaV, Vijayammal และ Kurup (1989) ศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากกล้วย (*Musa paradisiaca*) โดยผสมลงไปในอาหารที่ไม่มีคอเลสเตอรอลต่อเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในหนู พบว่าอาหารที่ผสมเส้นใยอาหารจากกล้วยจะทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นช้ากว่า และมีปริมาณไกลโคเจนในตับ (liver glycogen) สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารปกติ

DH (1991) ได้รายงานว่า เซลลูโลส และเพกทิน เป็นองค์ประกอบหลักของสารกลุ่มพอลิแซกคาไรด์ที่ไม่ใช้แป้งที่พบในเนื้อกล้วย และพบอินนูลินปริมาณเล็กน้อย

Campbell และคณะ (1997); Hogarth และคณะ (2000) ศึกษาชนิดเส้นใยอาหารกลุ่มพรีไบโอติกที่พบในผัก และผลไม้ต่างๆ พบว่า ในเนื้อกล้วย พลัม หอมหัวใหญ่ (onion) หอมแดง (shallot) ชิโครี่ (chicory) และอาร์ติโชค (artichoke) มีฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ

Homme, Puigserver และ Biagini (2003) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปอาหารต่อการเสื่อมสลายของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลไม้ พบว่า กระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิในช่วง 80-120 °C นาน 30 นาที หรือการฆ่าเชื้อวิธีปาสเตอร์ (pasteurization) มีผลให้เกิดการเสื่อมสลายของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในเนื้อกล้วยหอม

Cordenunsi, Shiga และ Lajolo (2007) ศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารในเนื้อกล้วย 2 สายพันธุ์ (Musa acuminata L.: cvs Mysore และ Nanicão) พบว่า เนื้อกล้วย Mysore มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และที่ไม่ละลายน้ำ 3.68 และ 5.78% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเนื้อกล้วย Nanicão มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และที่ไม่ละลายน้ำ 5.04 และ 10.84% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

Zanini และคณะ (2007) ศึกษาผลของการใช้โพรไบโอติกเดี่ยว และโพรไบโอติกผสมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตต่อเชื้อจุลินทรีย์มีชีวิตที่พบในลำไส้เล็ก และการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในเด็ก และผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดี พบว่า การใช้โพรไบโอติกผสมที่ประกอบด้วยเชื้อในกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* จะช่วยเพิ่มจำนวนแลคติคแอซิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria) ในลำไส้เล็กได้ดีกว่าการใช้เชื้อ *Lactobacillus casei* เพียงชนิดเดียว แต่การใช้โพรไบโอติกผสมส่งผลต่อการตอบสนองของภูมิคุ้มกันไม่แตกต่างจากการใช้โพรไบโอติกเดี่ยว

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antiradicals)

อนุมูลอิสระ (free radical) คือ อะตอม หรือโมเลกุลของสารที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (Punchard และ Kelly, 1996) อนุมูลอิสระสามารถเกิดขึ้นได้เองเมื่อร่างกายได้รับสารอินทรีย์บางชนิด หรืออาจเริ่มต้นจากโมเลกุลที่เป็นสารตั้งต้นได้รับความร้อน แสง หรือได้รับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลที่เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น เหล็ก (Fe^{2+}) หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์บางชนิดที่กระตุ้นให้สารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ (นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข, 2545) อันนำไปสู่ภาวะการเกิด โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ เป็นต้น (Rice-Evan, 1999)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ โดยทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ หรือทำหน้าที่ป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Gordon, 2001a; Gordon, 2001b; นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข, 2545; โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

2.6.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในกล้วยหอมทอง

สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มวิตามิน กลุ่มสารแคโรทีนอยด์ และกลุ่มสารประกอบฟีนอล

2.6.1.1 <u>กลุ่มวิตามิน</u>

สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มวิตามิน ที่พบในเนื้อกล้วยหอมทองได้แก่ วิตามินซี ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549) จากคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ที่จัดทำโดยกระทรวงสาธารณสุข (2535) แสดงให้เห็นว่ากล้วยหอมมีวิตามินซี 7 มิลลิกรัม

Stover และ Simmonds (1987) ได้รายงานว่าเนื้อกล้วยหอมทองสุกมีวิตามินซี 13.3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเนื้อ 100 กรัม

เบญจมาศ ศิลาย้อย (2545) ได้รายงานว่าเนื้อของกล้วยหอมทองที่ปลูกในประเทศไทย มีวิตามินซี 11.06 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม

2.6.1.2 <u>กลุ่มแคโรทีนอยด์</u>

สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีบทบาทสำคัญในการการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ และการเข้าไปจับกับอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ที่พบในเนื้อ

กล้วยหอมทองได้แก่ บีตาแคโรทีน โดยเนื้อของกล้วยหอมทองที่ปลูกในประเทศไทยมีบีตาแคโรทีน 197.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

2.6.1.3 กลุ่มสารประกอบฟีนอล

กลไกในการต้านอนุมูลอิสระของสารในสารประกอบฟีนอล มี 3 กลไก (Rice-Evan, 1999; โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549) คือ

ก. เป็นสารคีเลต (Chelating agent) ทำหน้าที่จับกับโลหะหนักที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ เช่น ทองแดง และเหล็ก เป็นต้น

ข. เป็นสารต้านออกซิเดชันโดยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ได้อนุมูลของสารประกอบฟีนอลที่มีความเสถียร

ค. ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปวิตามินอีกลับมาใหม่ โดยจะรีดิวซ์อนุมูลของวิตามินอีกลับเป็นวิตามินอีเหมือนเดิม ทำให้วิตามินอีสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ต่อไป

สารประกอบฟีนอลชนิดหลักๆ ที่พบในกล้วย ได้แก่ แคทีคอลเอมีน นารินจิน และลูทิน (Drell, 1970; Kanazawa และ Sakakibara, 2000) ซึ่งแคทีคอลเอมีนจะมีสารโดพามีนและนอร์อิพิเนฟรินเป็นสารตั้งต้น (predominant) สำหรับ นารินจิน และลูทินเป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณและชนิดของสารประกอบ ฟีนอลที่พบในกล้วยแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มสารประกอบฟีนอลที่พบในเนื้อกล้วย

สารประกอบฟีนอล	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มสารประกอบฟีนอล[A]			
	กล้วยดิบ[B]		กล้วยสุก[C]	
	เปลือก	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ
โดพามีน	8650-19400	47-100	560-800	25-100
นอร์อิพิเนฟริน	550-1180	8-17	0-240	8-16
นารินจิน	1200-2600	0-650	280-950	0-33
ลูทิน	160-230	0-48	110-160	0

[A] mg/kg (fresh weight) [B] สุกระดับ 1 ถึง 3 [C] สุกระดับ 6 ถึง 7

ดัดแปลงจาก: Kanazawa และ Sakakibara (2000)

2.6.2 การตรวจวัดแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการตรวจวัดแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้ง หรือกำจัดอนุมูลอิสระ (Radical-scavenging methods) มีหลายวิธีได้แก่ วิธี DPPH และวิธี ABTS เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การกำจัดสารอนุมูลอิสระสังเคราะห์ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว เช่น เมทานอล ที่อุณหภูมิห้อง สารอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่นิยมใช้ ได้แก่ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) (Micheal, 2001)

2.6.2.1 วิธี DPPH (DPPH assay)

วิธีนี้จะใช้อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ ซึ่งมีสีม่วงเป็นสารอนุมูลอิสระ แล้วติดตามการกำจัดอนุมูลอิสระจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ที่ลดลง ซึ่งเกิดเนื่องจากสารต้านออกซิเดชัน (AH) ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน หรือเกิดปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระอื่นๆ (R') (Brand-Williams, Cuvelier และ Berset, 1995) และเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่มีสี ผลการทดสอบแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน จะรายงานในรูปของค่า EC_{50} (50% effective concentration) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ไปได้ 50% ภายในวลาที่กำหนด

2.6.2.2 วิธี ABTS (ABTS assay)

วิธีนี้จะใช้สารประกอบ ABTS เป็นสารอนุมูลอิสระ โดยจะใช้ Potassium persulphate ในการเปลี่ยนสารประกอบ ABTS ไปเป็นอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ที่มีสีเขียวเข้ม (Re และคณะ, 1999) เมื่ออนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ จะเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่มีสี การติดตามการกำจัดอนุมูลอิสระจะวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ที่ลดลง การรายงานผลการทดสอบแอกทิวิตีของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี ABTS จะแสดงโดยค่า TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) ในหน่วย mM Trolox® equivalents (TE)/g fresh mass (FM)

2.7 การเกิดสีน้ำตาลคล้ำในผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอม

การเกิดสีน้ำตาลคล้ำของเนื้อกล้วยหอม มีสาเหตุหลักๆมาจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) กับสารประกอบฟีนอลที่พบในเนื้อกล้วยหอม ในภาวะที่มีออกซิเจน (Krokida, Maroulis และ Saravacos, 2001) ซึ่งในภาวะปกติที่ไม่มีการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ จะไม่มีปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น แต่เมื่อผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อกล้วยหอมถูกทำลายจากการปอกเปลือก การหั่นหรือการตีป่น จะมีปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น ได้ O-Diphenol ซึ่งจะออกซิไดซ์ต่อได้เป็น O-Quinone สารดังกล่าวจะรวมตัวกัน และเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโน ได้เป็นสาร

เชิงซ้อนสีน้ำตาล (Iyengar และ McEvily, 1992; Sapers, 1993; Fennema, 1996) ปฏิกิริยานี้นอกจากจะทำให้เนื้อกล้วยหอมมีสีเข้มขึ้นแล้ว ยังทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติได้ และส่งผลเสียต่อคุณค่าทางอาหารด้วย (Clemente และ Pastore, 1998)

ปริมาณเอนไซม์ PPO และ ปริมาณซับสเตรตของเอนไซม์ PPO ในเนื้อกล้วยหอม อาจมีความแตกต่างกันได้ ขึ้นกับชนิด สายพันธุ์ แหล่งที่ปลูก และความอ่อนแก่ของผลไม้ ทำเกิดสีน้ำตาลได้มากน้อยไม่เท่ากัน (Sapers, 1993) สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงเป็นปัญหาสำคัญต่อกระบวนการแปรรูป โดยเฉพาะในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการควบคุมที่ดีเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

2.8 วิธีการควบคุม และยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมจากการทำงานของเอนไซม์ PPO

การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ PPO มีหลักการ คือ ขัดขวางหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ กำจัดหรือเปลี่ยนซับสเตรต กำจัดหรือลดปริมาณออกซิเจน หรือเติมสารที่มีผลต่อทั้งเอนไซม์ และซับสเตรต

2.8.1. การให้ความร้อนหรือการลวก

สามารถใช้ความร้อนในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ เนื่องจากความร้อนจะทำให้เอนไซม์ PPO ซึ่งเป็นโปรตีนเกิดการเสียสภาพจนไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ แต่ทั้งนี้ PPO ในกล้วยหอมแต่ละชนิดมีเสถียรภาพต่อความร้อนแตกต่างกัน ทำให้อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนอาจทำให้เนื้อของผลไม้นิ่มเละ และเกิดกลิ่นรสผิดปกติได้

Galeazzi, Sgarbieri และ Constantinides (1981a) ได้ทำการแยกเอนไซม์ PPO จากกล้วยหอมเขียวค่อม (Dwarf Cavendish) และนำมาทำให้บริสุทธิ์ เพื่อใช้ศึกษาสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของเอนไซม์ โดยใช้ Catechol เป็นซับสเตรต พบว่าเอนไซม์จะสูญเสียกิจกรรม มากกว่า 90% เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C นาน 5 นาที และจะถูกยับยั้งการทำงานอย่างสมบูรณ์ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C นาน 5 นาที

2.8.2. การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

สารที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ PPO ได้ มีหลายชนิด กรดแอสคอร์บิค และกรดซิตริก เป็นต้น (Galeazzi และ Sgarbieri, 1981b; Yang และคณะ, 2000)

2.8.2.1 กรดแอสคอร์บิค

ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ โดยจะรีดิวซ์ *o*-Quinone กลับมาอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอล ก่อนที่ *o*-Quinone จะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล ทำให้สามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ (Mayer, Philippon และ Nicolas, 1993; Sapers, 1993) แต่เมื่อกรดแอสคอร์บิคถูกใช้หมดแล้ว สาร *o*-Quinone จะเกิดการสะสมมากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล อย่างไรก็ตามการใช้กรดแอสคอร์บิคที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ กรดแอสคอร์บิคจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้โดยตรง เนื่องจากจะทำให้โครงสร้างของเอนไซม์เปลี่ยนแปลงไป

2.8.2.2 กรดซิตริก

มีบทบาท 2 ประการ คือ เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม Acidulant ซึ่งจะทำให้ค่า pH ลดลง โดยเมื่อลด pH ให้ต่ำกว่าค่า Optimum pH ของเอนไซม์ PPO จะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลง และเป็นสารคีเลทจับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ PPO เมื่อทองแดงถูกดึงออกไปจะทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากทองแดงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เอนไซม์ทำงานได้เป็นปกติ (Iyengar และ McEvily, 1992)

Galeazzi และ Sgarbieri (1981b) ศึกษาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PPO จากกล้วยหอมเขียวค่อม (Dwarf Cavendish) พบว่าสารที่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ดีที่สุด คือ กรดแอสคอร์บิค รองลงมา คือ ซีสเตอีน และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ตามลำดับ

Pizzocaro, Torreggiani และ Gilardi (1993) ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิค กรดซิตริก และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในแอปเปิ้ล (Golden Delicious) พบว่าการจุ่มชิ้นเนื้อแอปเปิ้ลลงในกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้น 10g/l ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 2g/l หรือกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้น 10g/l ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5g/l นาน 5 นาที จะสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในแอปเปิ้ลได้ 90-100%

Laurila และคณะ (1998) ศึกษาการใช้สารทดแทนสารประกอบไบซัลไฟต์ ที่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมันฝรั่งที่หั่นเป็นชิ้น พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิคความเข้มข้น 0.1-0.5% ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1-0.5% และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงบรรยากาศให้มี CO_2 และ N_2 ในปริมาณ 20% และ 80% ตามลำดับ จะสามารถคงคุณภาพของชิ้นมันฝรั่งได้นาน 7 วัน

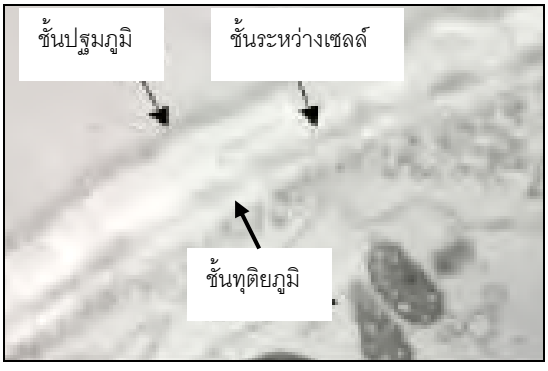
Yang และคณะ (2000) ศึกษาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PPO จากกล้วย *Musa sapientum* L. พบว่า ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิค กรดซิตริก และกรดอะซีติก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ดี

2.9 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมการแปรรูปกล้วยหอม

การประยุกต์ใช้เอนไซม์จากภายนอกเพื่อย่อยสลายเนื้อเยื่อของกล้วยหอม ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีเพกทินปริมาณมาก หรือเพื่อสกัดเอาองค์ประกอบบางอย่างที่อยู่ภายในเซลล์ของกล้วยหอมออกมา เช่น สี กลิ่นรส และสารประกอบอื่นๆ ล้วนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ๆจากกล้วยหอมที่มีความหลากหลาย มีคุณภาพที่ดีขึ้น และช่วยให้กระบวนการแปรรูปผลไม้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

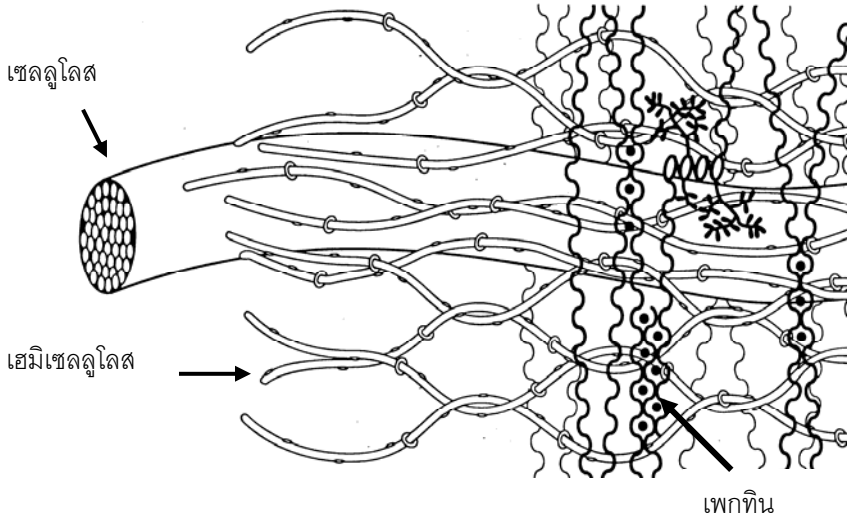
2.9.1 ผนังเซลล์ของเนื้อกล้วยหอม

สามารถแบ่งผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อกล้วยหอมได้เป็น 3 ชั้น คือ ชั้นปฐมภูมิ (primary wall) เป็นชั้นที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์เริ่มเจริญเติบโต ประกอบด้วยสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ชั้นระหว่างเซลล์ (middle lamella) เป็นชั้นที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์พืชแบ่งตัวและเป็นชั้นที่เชื่อมระหว่างเซลล์ให้อยู่ติดกัน มีสารประกอบเพกทินชนิดที่สามารถละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบหลัก และชั้นทุติยภูมิ (secondary wall) เป็นชั้นที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์หยุดขยายขนาดแล้ว โดยมีสารพวก เซลลูโลส คิวทิน ซูเบอริน ลิกนิน และเพกทินมาเกาะ



รูปที่ 2.6 ผนังเซลล์ของเนื้อกล้วยหอม *Musa* cv. Berangan [AAA]
ดัดแปลงจาก: Ratule และคณะ (2007)

ความเกี่ยวโยงของสารประกอบเพคตินกับเส้นใยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสของเนื้อเยื่อกล้วยหอม แสดงโดยรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความเกี่ยวโยงของสารประกอบเพกทินกับเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของเนื้อเยื่อกล้วยหอม ดัดแปลงจาก: Grassin และ Fauquembergue (1996); ปราณี อ่านเปรื่อง (2547)

การอยู่รวมกันของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลสในเนื้อกล้วยหอม จะทำให้เนื้อกล้วยหอมมีความข้นเหนียว ความข้น รวมทั้งมีผลต่อการกักเก็บสารประกอบต่างๆ เช่น รงควัตถุ สารกลิ่นรส สารต้านอนุมูลอิสระไว้ภายในเนื้อเยื่อด้วย

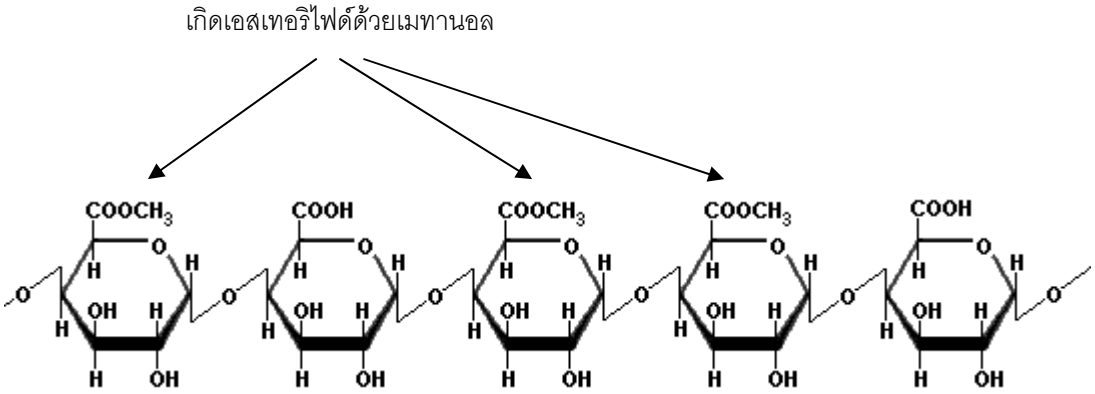
2.9.2 การใช้เอนไซม์เพคติเนสย่อยสลายเนื้อของกล้วยหอม

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้เอนไซม์เพคติเนสย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมมี 3 ประการ คือ ความสามารถในการย่อยสารประกอบเพกทินซึ่งขึ้นกับชนิดของสารประกอบเพกทินที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อกล้วยหอม และชนิดเอนไซม์เพคติเนสที่ใช้ ภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ สุดท้ายคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ได้ เช่น ความใส ความข้น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความคงตัว

2.9.2.1 <u>สารประกอบเพกทิน</u> (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

สารประกอบเพกทิน คือ พอลีแซกคาไรด์ที่เป็นกรด มีประจุลบ มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 10,000-40,000 และมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ โครงสร้างหลักขั้นปฐมภูมิประกอบด้วย

ประกอบด้วยสาย α-1,4-D-galacturonan ซึ่งบางส่วนเกิดเอสเทอริไฟด์ด้วยเมทานอล (รูปที่ 2.8) (Pilnik และ Rombouts, 1979)



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างปฐมภูมิของสารประกอบเพกทิน
ซึ่งบางส่วนเกิดเอสเทอริไฟด์ด้วยเมทานอล

ดังนั้นสามารถแบ่งสารประกอบเพกทิน ที่พบในเนื้อกล้วยหอมตามลักษณะของโครงสร้างหลักได้เป็นโปรโตเพกทิน เพกทิน กรดเพกทินิก และกรดเพกทิก

ก. โปรโตเพกทิน คือ สารประกอบเพกทินต้นตอที่ไม่ละลายน้ำ พบมากในเนื้อกล้วยหอมดิบ

ข. เพกทิน คือ สารประกอบเพกทินที่หมู่คาร์บอกซิลประมาณ 75% ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล พบมากในเนื้อกล้วยหอมที่เริ่มสุกจนสุกงอม

ค. กรดเพกทินิก คือ สารประกอบเพกทินที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่เล็กน้อย พบมากในเนื้อกล้วยหอมสุก

ง. กรดเพกทิก คือ สารประกอบเพกทิน หรือพอลิเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุล

2.9.2.2 <u>เพคติเนส</u> (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

เพคติเนส เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่เร่งการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน สามารถจำแนกเพคติเนสอย่างกว้างๆได้เป็น 3 กลุ่ม คือ โปรโตเพคติเนส เอสเทอเรส และดีพอลิเมอเลส

ก. โปรโตเพคติเนส คือ เอนไซม์ที่เร่งการสลายโปรโตเพกทินด้วยน้ำ ได้พอลิเมอร์ของเพกทินที่สั้นลง และสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น

ข. เอสเทอเรส คือ เอนไซม์ที่เร่งการเกิดปฏิกิริยา Deesterification หรือ Saponification โดยการสลายพันธะเอสเทอร์ของเพกทิน ได้แก่ เพกทินเอสเทอเรส

ค. ดีพอลิเมอเลส คือ เอนไซม์ที่เร่งการสลายพันธะ α (1-4) ไกลโคซิดิกระหว่างกรดกาแลคทูโรนิกของสารประกอบเพกทิน ได้แก่ พอลิกาแลกทูโรเนส เพกเททไลเอส และเพกทินไลเอส

การผลิตเพคติเนสเพื่อจำหน่ายทางการค้า จะผลิตจาก *Aspergillus niger* และ *Aspergillus aculeatus* คุณสมบัติของเพคติเนสที่ได้ จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ อาหารที่ใช้เลี้ยงจุลินทรีย์ และสภาพแวดล้อม

2.9.2.3 <u>หลักการทำงานของเอนไซม์เพคติเนส</u> (Pilnik และ Voragen, 1991; ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

การเติมเอนไซม์เพคติเนสในเนื้อกล้วยหอมบด มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมบดอย่างจำเพาะเจาะจง และได้เนื้อกล้วยหอมที่เนียนละเอียดมากขึ้น ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะไม่พบในกระบวนการให้ความร้อน ในขณะเดียวกันการใช้เอนไซม์จะช่วยรักษาสีและวิตามินอีกด้วย ทั้งนี้สามารถแบ่งเนื้อกล้วยหอมบดออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำผลไม้ (juice) ซึ่งเป็นส่วนของน้ำที่เป็นอิสระจากโครงสร้างของเซลล์ ส่วนต่อมา คือ ส่วนของชั้นกลาง (intermediary layer) ซึ่งเป็นชั้นที่มีลักษณะคล้ายเจล มีความหนืด สามารถอุ้มน้ำได้ดี มีโปรโตเพกทินอยู่มาก ส่วนสุดท้าย คือ ส่วนของของแข็ง (solid) ไม่ละลายน้ำ เป็นโครงสร้างของกล้วยหอม

การเติมเอนไซม์เพคติเนสในเนื้อกล้วยหอมบด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนต่างๆของระบบ คือ ส่วนของน้ำผลไม้จะมีความหนืดลดลง กล่าวคือช่วงแรกที่โปรโตเพกทินเริ่มละลาย ความหนืดของน้ำผลไม้จะสูงขึ้น แต่เมื่อผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อย่างสมบูรณ์ ความหนืดสุดท้ายจะลดลง ในขณะที่ส่วนของชั้นกลาง ซึ่งเป็นชั้นที่มีโปรโตเพกทินอยู่มาก การใช้เอนไซม์จะลดปริมาณโปรโตเพกทินที่ไม่ละลาย ซึ่งจะไปมีส่วนในการทำลายโครงสร้างเจล และน้ำถูกปลดปล่อยออกมา ในขณะเดียวกันจะเพิ่มสมบัติการซึมผ่านของของแข็ง สำหรับส่วนของของแข็ง หลังจากถูกย่อยสลายแล้ว จะปลดปล่อยองค์ประกอบที่สำคัญ เช่น รงควัตถุ และสารที่ให้กลิ่นรสของกล้วยหอม เป็นต้น ดังนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อกล้วยหอมที่มีสี กลิ่น และรสดั่งเดิมของเนื้อกล้วยหอมนั้น ซึ่งอาจจะมีมากพอที่จะใช้เป็นวัตถุปรุงแต่งสี และกลิ่นรสกล้วยหอมให้กับอาหารอื่นๆทดแทนการใช้สีผสมอาหาร หรือวัตถุปรุงแต่งสีกลิ่นรสกล้วยหอมสังเคราะห์

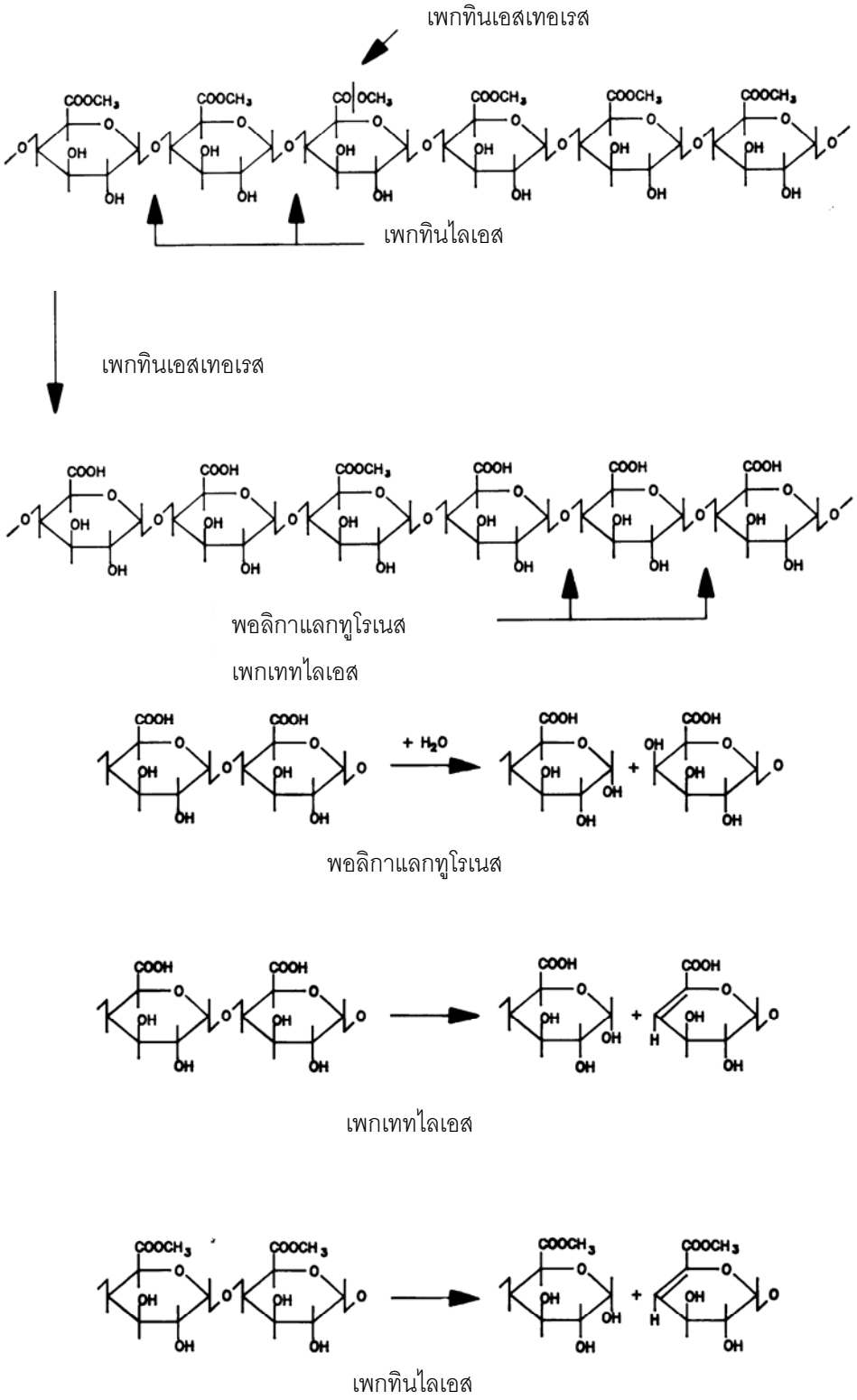
2.9.2.4 ปัจจัยที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์เพคติเนส (Tucker, 1995; ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

ก. ปริมาณของซับสเตรตและเอนไซม์ เมื่อปริมาณซับสเตรต และเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดการจับตัวของเอนไซม์และซับสเตรตย่อมมีมากขึ้นด้วย อัตราปฏิกิริยาจึงเกิดได้เร็วขึ้น แต่ถ้าปริมาณซับสเตรตและเอนไซม์ลดลงก็จะทำให้โอกาสที่จะจับตัวกันลดลงด้วย ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ช้าลง นั่นคือ อัตราการเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของซับสเตรตหรือปริมาณของเอนไซม์ แต่ถ้ามีปริมาณซับสเตรตมากเกินไปก็ไม่มีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีปริมาณเอนไซม์เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับซับสเตรตที่มากเกินพอนั้น ในทางตรงข้ามถ้าหากมีเอนไซม์ปริมาณมากเกินพอในปฏิกิริยา ก็ไม่มีผลทำให้อัตราของปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น เพราะไม่มีซับสเตรตเหลือพอที่จะเข้าทำปฏิกิริยา แต่ถ้าให้เวลาเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเอนไซม์หลุดออกจากผลิตภัณฑ์ และสามารถเร่งปฏิกิริยาของซับสเตรตโมเลกุลอื่นก็จะทำให้อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นได้

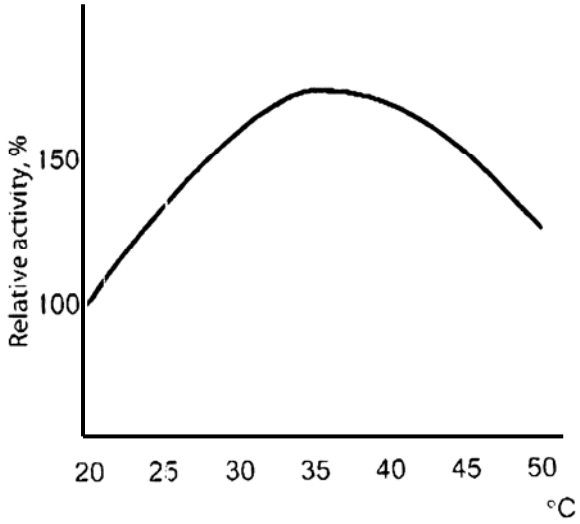
ข. อุณหภูมิ โดยปกติอุณหภูมิที่เหมาะต่อการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาได้ดี ถ้าหากอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ปฏิกิริยาจะลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป ทำให้เอนไซม์ทำงานไม่เต็มที่ และอาจทำให้เสียสภาพได้ในที่อุณหภูมิสูงเกินไป

ค. pHค่า pH มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์เช่นเดียวกับอุณหภูมิ

ง. ระยะเวลา เมื่อปริมาณซับสเตรต และเอนไซม์คงที่ การเพิ่มระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการจับตัวของเอนไซม์และซับสเตรตมีมากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้มากขึ้นด้วย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องจากซับสเตรตของเอนไซม์ชนิดนั้นๆหมด หรือปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล

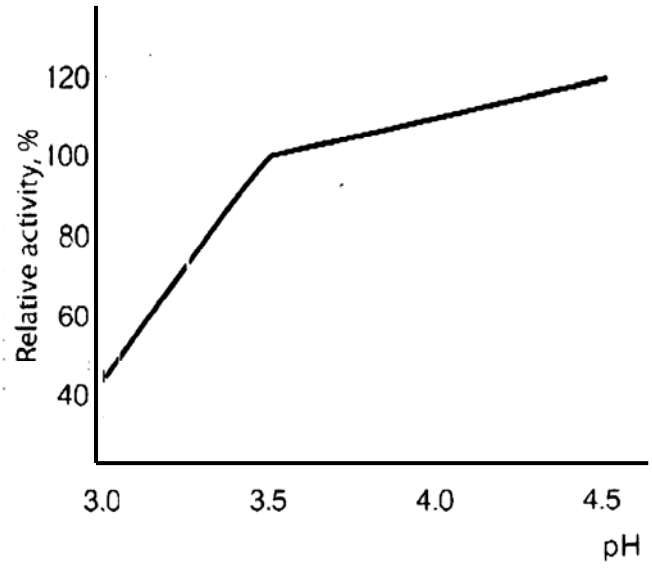


รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาของเพคติเนสแต่ละชนิด ลูกศรแสดงตำแหน่งที่เพคติเนสเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทิน ดัดแปลงจาก: Lea (1995); ปราณี อ่านเปรื่อง (2547)



รูปที่ 2.10 แอกทิวิตีของเอนไซม์เพคติเนส ที่อุณหภูมิต่างๆ pH 3.5

ดัดแปลงจาก: Novo, Enzyme Information



รูปที่ 2.11 แอกทิวิตีของเอนไซม์เพคติเนส ที่ pH ต่างๆ อุณหภูมิ 20˚C

ดัดแปลงจาก: Novo, Enzyme Information

Sreekantiah, Jaleel และ Rao (1971) ศึกษาการใช้เอนไซม์เพคติโนไลติก (pectinolytic) เข้มข้นที่ได้จาก *Aspergillus niger* 0.2-0.5 % โดยน้ำหนัก ในการสกัดน้ำจากเนื้อกล้วยหอม แอปเปิล มะม่วง มะละกอ และขนุน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 24-25˚C นาน 3-8 ชั่วโมง ได้น้ำผลไม้ 60-87 %, 85.5-91 %, 80 %, 92 %, 85% และ 78 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

Jaleel และคณะ (1978) ศึกษาการใช้เพคติเนสเข้มข้น ในการสกัดน้ำกล้วยหอมโดยแปรความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.5-2.0 โดยปริมาตรเอนไซม์ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วยบด ในเวลา 5 ชั่วโมง ที่ 25-30˚C พบว่าปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 0.75-1.0 เป็นปริมาณสูงสุดที่จะทำให้น้ำกล้วยออกมามากที่สุด

Viquez, Lastreto และ Cooke (1981) ทดลองใช้เพคติเนสทางการค้า 6 ชนิด ซึ่งประกอบด้วยเพคติเนสในปริมาณแตกต่างกัน คือ Pectinol และ Pectinol D จากบริษัท Rohm Gohm, Pectinase PV 8 จากบริษัท Mile MKC, Ultrazyme 100 และ Ultrazyme 100 special จากบริษัท Ciba-Geigy และ Clarifine Super จากบริษัท Sturge Chemicals ในการสกัดน้ำกล้วยหอมที่ระดับความสุกต่างกัน พบว่ากล้วยที่เปลือกมีสีเหลืองสม่ำเสมอทั่วทั้งผล และมีรอยด่างสีน้ำตาล เป็นแถบกว้าง จะให้ผลผลิตของน้ำกล้วยมากที่สุด และ เอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการใช้สกัดน้ำกล้วยคือ Ultrazyme 100 special และ Clarifine Super ที่ความเข้มข้น 0.01-0.025 % นาน 2 ชั่วโมง ที่ 45˚C pH 4.4-4.6

Sreenath, Nanjudaswamy และ Sreekantiah (1987) ศึกษาการลดความหนืดของเนื้อมะม่วงบดเพื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมะม่วงโดยใช้เอนไซม์เพคติเนส และเซลลูเลสชนิดต่างๆที่ผลิตทางการค้าที่ได้จากเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า Ultrazym 100 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดความหนืดโดยใช้ความเข้มข้น 0.05 % w/v ที่อุณหภูมิ 40˚C นาน 30 นาที แล้วยุติปฏิกิริยาด้วยน้ำเดือดนาน 5-10 นาที ซึ่งสามารถลดความหนืดของเนื้อมะม่วงบดได้ 82 %

อรุณี เพียรทวีรัชต์ และ ปราณี อ่านเปรื่อง (2536) ใช้เพคติเนส เซลลูเลส และ แอมิเลสทางการค้า (Pcetinex Ultra SP-L, Celluclast 1.5L และ Ban 240L ตามลำดับ) เพื่อช่วยในการสกัดน้ำกล้วยหอม โดยใช้กล้วยหอมที่มีความสุกระดับ 7-8 พบว่า การใช้เซลลูเลส 0.06 % ร่วมกับเพคติเนส 0.05 % จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมได้ โดยพิจารณาจากความหนืดของเนื้อกล้วยหอมที่ลดลง และได้ภาวะที่เหมาะสม คือ ที่อุณหภูมิ 45˚C นาน 2 ชั่วโมง และสามารถสกัดสกัดน้ำกล้วยได้ผลผลิตประมาณ 73% โดยน้ำหนัก (น้ำหนักกล้วยหอมทั้งหมด) สำหรับแอมิเลสพบว่าไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของน้ำกล้วยหอม

Sreenath, Sudarshanakrishna และ Santhanam (1994) ศึกษาการใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำสับปะรดที่สกัดจากเนื้อ และกากสับปะรด พบว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสจะทำให้น้ำสับปะรดที่ได้มีปริมาตรมากขึ้น มีความใส มีค่าความเป็นกรดลดลง มีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้เพิ่มมากขึ้น มีความหนืดลดลง โดยที่การยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสับปะรดทั่วไป

Grassin และ Fauquembergue (1996) ได้รายงานปริมาณเอนไซม์เพคติเนสที่เหมาะสมสำหรับใช้ย่อยเนื้อกล้วยหอมบด จะอยู่ในช่วง 75-100g/ton ของน้ำหนักเนื้อกล้วยหอมนาน 1-2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45°C pH 4.5-4.8

Alvarez และคณะ (1998) ศึกษาผลของการย่อยสลายเพกทินต่อกระบวนการกรองน้ำแอปเปิ้ลแบบอัลตราฟิวเตรชัน พบว่าการย่อยสลายเพกตินในน้ำแอปเปิ้ลด้วยเอนไซม์จะทำให้ได้น้ำแอปเปิ้ลที่มีความขุ่น ความหนืด และปริมาณเพกทินลดลง เมื่อนำไปกรองจะมีอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองสูงมากขึ้น และลดการเกิดปัญหาการอุดตันเยื่อกรองเนื่องจากโมเลกุลเพกทิน

Revilla และ Ganzalez-san jose (2003) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไวน์แดงโดยใช้เอนไซม์ย่อยสลายเพกทินเติมลงในน้ำผลไม้ก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ พบว่าการเติมเอนไซม์ลงในน้ำผลไม้จะทำให้ไวน์ที่ได้มีลักษณะปรากฏด้านสี และความใสดีขึ้น นอกจากนี้ไวน์ที่ได้จะมีเสถียรภาพสูงขึ้น ไม่เกิดการตกตะกอนในระหว่างการเก็บรักษา

Kaur, Kumar และ Satyanarayana (2004) ใช้เอนไซม์ พอลิกาแลกทูโรเนสชนิดที่ทนความร้อนร่วมกับเอนไซม์เพคติเนส กับเนื้อผลไม้ชนิดต่างๆ พบว่า การใช้เอนไซม์กับเนื้อกล้วยหอม องุ่น และแอปเปิ้ล จะช่วยให้ได้น้ำผลไม้ปริมาตรมากขึ้น

Lee, Yusof, Hamid และ Baharin (2006) ใช้เพคติเนส (Pcetinex Ultra SP-L) แอมิเลส (AMG 300L) ทางการค้าศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำน้ำกล้วยหอมให้ใสโดยใช้เอนไซม์ พบว่าการใช้เอนไซม์ในภาวะที่แตกต่างกัน (ปริมาณเอนไซม์ อุณหภูมิ และระยะเวลา) จะมีผลต่อความสามารถในการกรอง ความใส ความขุ่น และความหนืดของน้ำกล้วยที่ได้ และภาวะที่เหมาะสมในการทำน้ำกล้วยให้ใส คือ ใช้เอนไซม์เพคติเนสความเข้มข้น 0.084% บ่มที่อุณหภูมิ 43.2°C นาน 80 นาที

2.10 **วัตถุเจือปนอาหาร** (Food Additive)

2.10.1 **ความหมายของวัตถุเจือปนอาหาร**

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่281) พ.ศ.2547 เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร วัตถุเจือปนอาหาร คือ “วัตถุที่ตามปกติมิได้ใช้เป็นอาหารหรือส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารแต่ใช้เจือปนในอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีการผลิต การแต่งสี การปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐานหรือลักษณะของอาหาร รวมถึงวัตถุที่มิได้เจือปนในอาหาร แต่มีภาชนะบรรจุไว้เฉพาะใส่รวมกับอาหารเพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย”

FAO/WHO (1999) ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง "สารใดๆ ซึ่งปกติมิได้ใช้เป็นอาหาร และมิได้ใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางโภชนาการหรือไม่ก็ตาม เป็นสารที่เติมลงในอาหารโดยตั้งใจเพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านเทคโนโลยีในการผลิต การแปรรูป การปฏิบัติ การถนอม การบรรจุ บรรจุภัณฑ์ การขนส่งและเก็บรักษาอาหาร ซึ่งตัวของสารเองหรือผลพลอยได้ของสารนั้นมีผลหรืออาจมีผลต่ออาหาร ในการเป็นส่วนประกอบของอาหารหรือมีผลต่อคุณลักษณะของอาหาร แต่ไม่รวมถึงสารปนเปื้อนหรือสารที่เติมลงในอาหารเพื่อรักษาหรือปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการ"

2.10.2 **แหล่งที่มาของวัตถุเจือปนอาหาร** (Branen และ Haggerty, 2002)

ปัจจุบันมีสารกว่า 2,800 ชนิดที่นักวิทยาศาสตร์นำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร ซึ่งมีแหล่งที่มาที่มีความหลากหลายและแตกต่างกันดังนี้ คือ วัตถุเจือปนอาหารที่ได้มาจากพืช วัตถุเจือปนอาหารที่ผลิตเลียนแบบสารธรรมชาติ วัตถุเจือปนอาหารที่ได้จากการดัดแปลงสารจากธรรมชาติ และวัตถุเจือปนอาหารชนิดที่นักวิทยาศาสตร์ผลิตขึ้น

2.10.3 **สีผสมอาหาร** (FAO/WHO, 1999; Thorngate, 2002; Lee และ Khng, 2002)

การใช้สีผสมอาหาร มีวัตถุประสงค์เพื่อแต่งสีให้อาหารมีลักษณะคล้ายธรรมชาติ หรือเพื่อให้มีสีสม่ำเสมอ และอาจใช้เพื่อจำแนกกลิ่น รสของอาหารก็ได้ สีที่ใช้ผสมอาหารมี 2 จำพวกได้แก่ สีธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสีที่สกัดได้จากพืช หรือสัตว์ที่บริโภคได้ เช่น แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ และสีสังเคราะห์ซึ่งสร้างจากสารเคมีต่าง ๆ สีสังเคราะห์มีความคงตัวดีกว่าสีธรรมชาติ แต่ต้องใช้เฉพาะชนิดที่อนุญาตให้ใช้และปริมาณที่กำหนดเท่านั้น

Sawaya และคณะ (2008) สำรวจการใช้สีผสมอาหารในอาหารทั่วๆไปที่บริโภคโดยเด็กในประเทศคูเวต พบว่า ตัวอย่างอาหารประมาณ 90% ที่นำมาตรวจสอบ มีการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์ที่อนุญาตให้ใช้ได้ และตัวอย่างอาหารหลายชนิดมีการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์ในปริมาณที่สูงกว่าที่กฎหมายกำหนด

2.10.4 **วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร**

วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร หมายถึงวัตถุที่นำมาใช้แต่งกลิ่น หรือรสตามต้องการ วัตถุประสงค์ในการใช้ที่สำคัญคือ เพื่อเป็นการให้กลิ่นรสทดแทนแก่อาหารที่สูญเสียกลิ่นรสไป เพื่อการแต่งกลิ่นรสให้กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบที่ไม่มีกลิ่นรสตามที่ต้องการ และเพื่อช่วยเน้นกลิ่นรสให้เด่นชัดขึ้น (Sugita, 2002) วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ วัตถุแต่งกลิ่นรสธรรมชาติ ซึ่งหมายความถึงวัตถุแต่งกลิ่นรสที่ได้จากพืชหรือสัตว์ที่มนุษย์ใช้บริโภคโดยผ่านวิธี

ทางกายภาพ วัตถุแต่งกลิ่นรสเลียนธรรมชาติ ซึ่งหมายความถึงวัตถุแต่งกลิ่นรสที่ได้จากการแยกวัตถุที่ให้กลิ่นรสด้วยวิธีทางเคมี หรือได้จากวัตถุที่สังเคราะห์ขึ้น โดยวัตถุที่แยก หรือสังเคราะห์ขึ้นนั้นจะต้องมีคุณลักษณะทางเคมีเหมือนวัตถุที่พบในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มนุษย์ใช้บริโภค และรวมถึงวัตถุแต่งกลิ่นรสเลียนธรรมชาติที่มีวัตถุแต่งกลิ่นรสธรรมชาติผสมอยู่ และชนิดสุดท้าย คือ วัตถุแต่งกลิ่นรสสังเคราะห์ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

2.10.5 **พิษภัยของวัตถุเจือปนอาหาร**

วัตถุเจือปนอาหารมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหาร ช่วยให้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด มีคุณภาพได้มาตรฐาน ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากใช้ไม่ถูกต้องก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้เช่นกัน ปัญหาพิษภัยที่เกิดจากวัตถุเจือปนอาหารที่เป็นสารสังเคราะห์อาจเกิดได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้ผิดประเภท ใช้ปริมาณมากกว่าที่กฎหมายอนุญาต เช่น สีผสมอาหารให้ใช้ได้ไม่เกิน 70 มก./กก. เป็นต้น การใช้ในปริมาณมากเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ หรืออาจใช้วัตถุเจือปนอาหารที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานมาใช้เพราะมีราคาถูกกว่า เนื่องจากสารอื่นที่ปะปนมาจากการแยกสารออกไม่หมด และยังคงมีตกค้างในปริมาณที่มากเกินไป ได้แก่ โลหะหนักต่าง ๆ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู ปรอท พลวง โครเมียม เป็นต้น (FDA, 2001) นอกจากนี้ในระหว่างการผลิต และการเก็บรักษาอาจมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ถ้าขาดการควบคุมด้านสุขลักษณะ (Sumner และ Eifert, 2002)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

กล้วยหอมพันธุ์หอมทอง [*Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel'] ซื้อจากห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ สาขาบางแค จังหวัดกรุงเทพมหานคร กล้วยที่นำมาใช้ในการทดลองเมื่อยังไม่ได้ปอกเปลือกจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่กว้างที่สุดอยู่ในช่วง 3.2-3.7 cm โดยจะเลือกซื้อกล้วยที่สุกในระยะที่ 1 คือ เปลือกกล้วยมีสีเขียว และผลมีความแข็ง จากนั้นนำมาตัดแบ่งเป็นผล แล้วนำมาบ่มให้สุกในกล่องไม้ที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิ 32±2°C ความชื้น 70–75% เมื่อกล้วยสุกถึงระยะที่ต้องการ ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของสีเปลือก จึงสุ่มตัวอย่างออกมาโดยคละหวี และคละลูก เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

3.1.2 เอนไซม์

Amyloglucosidase (AMG® 300 L)	(Novo Industri A/S Copenhegen, Denmark)
Pectinase (Pectinex Ultra SP-L®)	(Novo Industri A/S Copenhegen, Denmark)
Pectinase (Sigma P4300®)	(Sigma-Aldrich, Germany)
Protease (Alcalase® 2.4 L)	(Novo Industri A/S Copenhegen, Denmark)
Amylase (Fungamyl® 800L)	(Novo Industri A/S Copenhegen, Denmark)

3.1.3 สายพันธุ์แบคทีเรีย

Bifidobacterium lactis BB-12	(Chrhansen, Denmark)
Escherichia coli ATCC 29922	(Sigma-Aldrich, Germany)
Lactobacillus acidophilus LA-5	(Chrhansen, Denmark)

3.1.4 สารเคมี

3.1.4.1 <u>การวิเคราะห์ค่าแอกทิวิตีของการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH</u>

2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)	A.R grade (Fluka)
Methanol	A.R grade (J.T.)

3.1.4.2 <u>การวิเคราะห์ค่าแอกทิวิตีของการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS</u>

2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS)

	A.R grade (Fluka)
Methanol	A.R grade (J.T.)
Potassium persulfate	A.R grade (Merck)
Trolox®	A.R grade (Fluka)

3.1.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก

Phenolphthalein	A.R grade (Merck)
Potassium hydrogen phthalate	A.R grade (Merck)
Sodium hydroxide	A.R grade (Ajax)

3.1.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

Ammonium molybdate	A.R grade (Fluka)
Anhydrous sodium dihydrogen phosphate	A.R grade (Merck)
Anhydrous sodium sulphate	A.R grade (Merck)
Copper sulphate pentahydrate	A.R grade (Merck)
D-(+)-glucose	A.R grade (Merck)
Potassium sodium tartrate	A.R grade (Merck)
Sodium hydroxide	A.R grade (Ajax)
Sulfuric acid	A.R grade (BDH)
Sodium arsenate	A.R grade (Merck)

3.1.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

Acetone	A.R grade (Merck)
Amyloglucosidase®	(Sigma-Aldrich, Germany)
Disodium hydrogen phosphate	A.R grade (Merck)
Ethanol absolute	A.R grade ((Ajax))
95% Ethanol	Commercial grad
Hydrochloric acid	A.R grade (J.T.)
Protease®	(Sigma-Aldrich, Germany)
Sodium dihydrogen phosphate	A.R grade (Merck)
Sodium hydroxide	A.R grade (Ajax)

Termamyl®	(Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.4.6 การวิเคราะห์ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก

Ammonium sulphate	A.R grade (Fluka)
D-(+)-glucose	A.R grade (Merck)
Dipotassium hydrogen phosphate	A.R grade (Merck)
Glycerol	A.R grade (Merck)
Mann Rogosa Sharpe (MRS) agar	A.R grade (Merck)
Mann Rogosa Sharpe (MRS) broth	A.R grade (Merck)
Magnesium sulfate	A.R grade (Merck)
Tryptic soy broth (TSB)	A.R grade (Merck)
Tryptic soy agar (TSA)	A.R grade (Merck)

3.1.4.6 สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

Ascorbic acid	Food grade (วิทยาศรม)
Citric acid	Food grade (วิทยาศรม)

3.1.6 อุปกรณ์

Hand refractometer (Atago รุ่น N-1α 0-32°Brix, Japan)

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (WTB BINDER)

ปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump) (MFG รุ่น 0522-v103-G21DX, USA)

เตาให้ความร้อน (Hot plate) (EGO รุ่น 12607, Germany)

เตาเผา (Isotemp รุ่น FT01/138)

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BP3100S, Germany)

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BP2100S, Germany)

เครื่อง Autoclave (SABYO Labo Autoclave รุ่น MLS-2400)

เครื่องปั่นผสม (Philips รุ่น HR 1375/A)

เครื่อง Chroma meter (Minolta รุ่น CR 400, Japan)

เครื่อง Gas chromatography (Agilent รุ่น 6890, USA) ห้องปฏิบัติการวิจัย และทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่อง Incubator (Memmert รุ่น 500)

เครื่อง Laser partical size analyzer (Malvern รุ่น Mastersizer 2000) ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่อง Magnetic stirrer (DiLigent รุ่น ST-1200)

เครื่อง Mass-selective detector (Agilent รุ่น HP-5973, USA) ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่อง pH meter (Schott รุ่น CG 825, Germany)

เครื่อง Rotary vacuum evaporator (Buchi รุ่น B-485)

เครื่อง Spectrophotometer (JAS.CO รุ่น V-530, Japan)

เครื่อง Vortex (Labnet รุ่น VX100, USA)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง

ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง 3 ระยะ คือ 6, 7 และ 8 กับสมบัติทางเคมีกายภาพ เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเมื่อผลกล้วยเริ่มสุกจนสุกงอม โดยนำเนื้อกล้วยแต่ละระยะการสุกมาตรวจวัดสมบัติต่อไปนี้

3.2.1.1 <u>ค่าแอกทิวิตีการกำจัดอนุมูลอิสระ</u> (Free radical-scavenging activity)

3.2.1.1.1 การเตรียมสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอม (ดัดแปลงจาก Velioglu และคณะ, 1998)

(1) สุ่มตัวอย่างเนื้อกล้วยหอมสด มาหั่นตามขวางหนา 2-3 cm ปริมาณ 60 g ใส่ลงในเครื่องปั่นผสม เติมเอทานอล 95 % ปริมาตร 300 ml และปั่นให้ละเอียดด้วย เครื่องปั่นผสม นาน 1 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 25°C นาน 4.5 ชั่วโมง โดยมีการกวนตลอดเวลาด้วยความเร็ว 100 rpm

(2) นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman® No 1 เพื่อแยกเอากากออก นำส่วนของเหลวใสที่กรองได้ไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 75 °C เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่มีฝาปิดสนิท ที่อุณหภูมิ -15 °C

3.2.1.1.2 การหาค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ

ก. วิธี DPPH

การหาค่าแอกทิวิตีการกำจัดอนุมูลอิสระ ของเนื้อกล้วยหอมสด ด้วยวิธีที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยใช้ DPPH เป็นสารอนุมูลอิสระ มีขั้นตอนตามวิธีของ Maisuthisakul และคณะ (2007) (ภาคผนวก ก.1)

ข. วิธี ABTS

การหาค่าแอกทิวิตีการกำจัดอนุมูลอิสระ ในเนื้อกล้วยหอมสด ด้วยวิธีที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยใช้สารประกอบ ABTS ซึ่งสลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซีซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระ มีขั้นตอนตามวิธีของ Thaipong และคณะ (2006) (ภาคผนวก ก.2)

3.2.1.2 ค่าสี (Color)

ใช้การวัดค่าสีในระบบ L* a* b* (L* = 0 [Dark] and L* = 100 [Ligh]), a* (-a* = Green and +a* = Red), b* (-b* = Blue and +b* = Yellow), C* (Chroma, saturation) และ h° (Hue) ด้วยเครื่อง Chroma meter โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ทำโดยนำผลกล้วยหอมมาหันครึ่งตามยาว และวัด 3 จุดเรียงตามความยาวของผล เป็น 1 ซ้ำ

3.2.1.3 ปริมาณความชื้น (Moisture)

ใช้การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1995) (ภาคผนวก ก.3)

3.2.1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สุ่มตัวอย่างเนื้อกล้วยหอมมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม และบีบเอาส่วนของเหลวออกมาวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

3.2.1.5 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมด ในรูปของกรดซิตริก (Total titratable acidity, TA)

ใช้การไตเตรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1990) (ภาคผนวก ก.4)

3.2.1.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar, RS)

ใช้การวิเคราะห์ปริมาณ RS ตามวิธีการของ Nelson (1994) (ภาคผนวก ก.5)

3.2.1.7 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solids, TSS)

สุ่มตัวอย่างเนื้อกล้วยหอมมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม และบีบเอาส่วนของเหลวออกมาวัดค่า TSS ด้วย Hand Refractometer (0–32 $^{\circ}$Brix) ในหน่วย $^{\circ}$Brix

3.2.1.8 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber, TDF)

ใช้การวิเคราะห์ปริมาณ TDF ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1995) (ภาคผนวก ก.6)

3.2.1.9 ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก (Prebiotic activity score)

งานวิจัยนี้จะวัดค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก โดยการเปรียบเทียบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ หรือโพรไบโอติก (probiotics) เช่น *Lactobacillus acidophilus* LA5 และ *Bifidobacterium lactis* BB-12 และแบคทีเรียชนิดอื่นในระบบทางเดินอาหาร เช่น *Escherichia coli* ATCC 29922 กับสารที่ไม่ได้เป็นสารพรีไบโอติก เช่น กลูโคส

3.2.1.9.1 การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย

ดัดแปลงจากวิธีของ Huebener, Wehling และ Hutkins (2007)

(1) นำเชื้อ *L. acidophilus* LA5 และ *B. lactis* BB-12 (probiotic) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C ในอาหารเหลว MRS ที่มีกลีเซอรอล 50 % (w/v) มา Streak บนวุ้น MRS และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C ที่ภาวะที่มีออกซิเจนสำหรับเชื้อ *L. acidophilus* LA5 และที่ภาวะไม่มีออกซิเจนใน Anaerobic jar ที่มี Anerogen gas pack (Oxoid®) สำหรับเชื้อ *B. lactis* BB-12 นาน 24-48 ชั่วโมงจากนั้นถ่ายเชื้อจำนวน 1 คอโลนี ลงในอาหารเหลว MRS ปริมาตร 10 ml ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 20 ml และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C ที่ภาวะที่มีออกซิเจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการเขย่า

(2) นำเชื้อ *E. coli* ATCC 29922 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C ใน Tryptic Soy Broth (TSB) ที่มีกลีเซอรอล 50% (w/v) มา Streak บน Tryptic Soy Agar (TSA) และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C ที่ภาวะที่มีออกซิเจน นาน 24-48 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อจำนวน 1 คอโลนี ลงใน TSB ปริมาตร 10 ml ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 20 ml และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C ที่ภาวะที่มีออกซิเจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการเขย่า และถ่าย *E. coli* ATCC 29922 จาก TSB ปริมาณ 1 % (v/v) ลงใน Minimal Medium Broth (ภาคผนวก ค) ปริมาตร 10 ml ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 20 ml และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C ที่ภาวะที่มีออกซิเจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการเขย่า

3.2.1.9.2 การหาค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก (Huebener, Wehling และ Hutkins, 2007)

(1) ถ่ายเชื้อ *L. acidophilus* LA5 และ *B. lactis* BB-12 ปริมาณ 1 % (v/v) ลงในอาหารเหลว MRS ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 20 ml และ *E. coli* ATCC 29922 ปริมาณ 1 % (v/v) ลงใน Minimal Medium Broth ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 20 ml โดยที่ Minimal Medium Broth ในหลอดทดลองแต่ละหลอดจะมีกลูโคส หรือตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบปริมาณ 1 % (w/v) เป็นองค์ประกอบ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C ที่ภาวะที่มีออกซิเจน นาน 0 และ 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการเขย่า เพื่อนำไปนับจำนวนคอโลนีในข้อต่อไป

(2) นำเชื้อจากแต่ละหลอดในข้อ (1) ไปนับจำนวนคอโลนี ในวุ้น MRS สำหรับเชื้อ *L. acidophilus* LA5 และ *B. lactis* BB-12 และใน TSA สำหรับเชื้อ *E. coli* ATCC 29922

ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก (Huebener, Wehling และ Hutkins, 2007)

$$= \frac{\text{ความแตกต่างระหว่างจำนวนคอโลนี (log cfu ml}^{-1}\text{) ของโพรไบโอติกที่ 0 และ 24 ชั่วโมง ในพรีไบโอติก}}{\text{ความแตกต่างระหว่างจำนวนคอโลนี (log cfu ml}^{-1}\text{) ของโพรไบโอติกที่ 0 และ 24 ชั่วโมง ในกลูโคส}} - \frac{\text{ความแตกต่างระหว่างจำนวนคอโลนี (log cfu ml}^{-1}\text{) ของ } \textit{E. coli} \text{ ที่ 0 และ 24 ชั่วโมง ในพรีไบโอติก}}{\text{ความแตกต่างระหว่างจำนวนคอโลนี (log cfu ml}^{-1}\text{) ของ } \textit{E. coli} \text{ ที่ 0 และ 24 ชั่วโมง ในกลูโคส}} \quad (3.1)$$

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (Montgomery, 2001)

3.2.1.10 สารระเหยได้ (Volatile compounds)

3.2.1.10.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่าง สำหรับใช้วิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้โดยเทคนิค Static headspace analysis/gas chromatography/mass spectrometry (SHA/GC/MS) มีขั้นตอนดังนี้

(1) นำตัวอย่างเนื้อกล้วยหอมสด ปริมาณ 50 g มาปั่นให้ละเอียดอย่างรวดเร็วโดยใช้เครื่องปั่นผสม และสุ่มตัวอย่างออกมา 1.00±0.01g ใส่ในขวด Headspace vial ขนาด 25 ml และปิดฝาให้สนิด โดยพยายามใช้เวลาให้น้อยที่สุด

(2) นำตัวอย่างในขวด Headspace vial ไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 20 นาที เพื่อให้เข้าสู่ภาวะสมดุลก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS

3.2.1.10.2 การวิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้

การวิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS มีการกำหนดภาวะต่างๆ ตามภาวะของ Chokeprasert และคณะ (2007) ดังนี้

ก. GC (Gas chromatography)

(1) Column: Capillary column, Model number: Agilent 19091S-433 HP-5MS, 0.25mm * 30m * 0.25μm

(2) Injection port temperature: 250°C

(3) Column temperature programmer: เริ่มดึงแก๊สที่บริเวณ Headspace ในขวด Headspace vial ฉีดเข้าไปยังเครื่อง Gas chromatography ที่อุณหภูมิ 40°C จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100°C ด้วยอัตรา 3°C/min และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 230°C ด้วยอัตรา 5°C/min และทิ้งไว้นาน 2 min

(4) Carrier gas / Flow rate: Helium / 1ml/min

ข. MS (Mass spectrometry

(1) Electron impact (EI) mode: 70 eV

(2) Ion source temperature: 230°C

(3) Quadrupole temperature: 150°C

(4) Mass range m/z: 35–400

(5) Scan rate: 0.25s/scan

(6) EM voltage: 1423 V

(7) GC–MS transfer line: 280°C

3.2.2 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง

ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง 3 ระยะ คือ 6, 7 และ 8 กับคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเมื่อผลกล้วยเริ่มสุกจนสุกงอม และคัดเลือกระยะการสุกของกล้วยหอมที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ในการผลิตไซรัปกล้วยหอม

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่นรสกล้วยหอม และการยอมรับโดยรวม ด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ

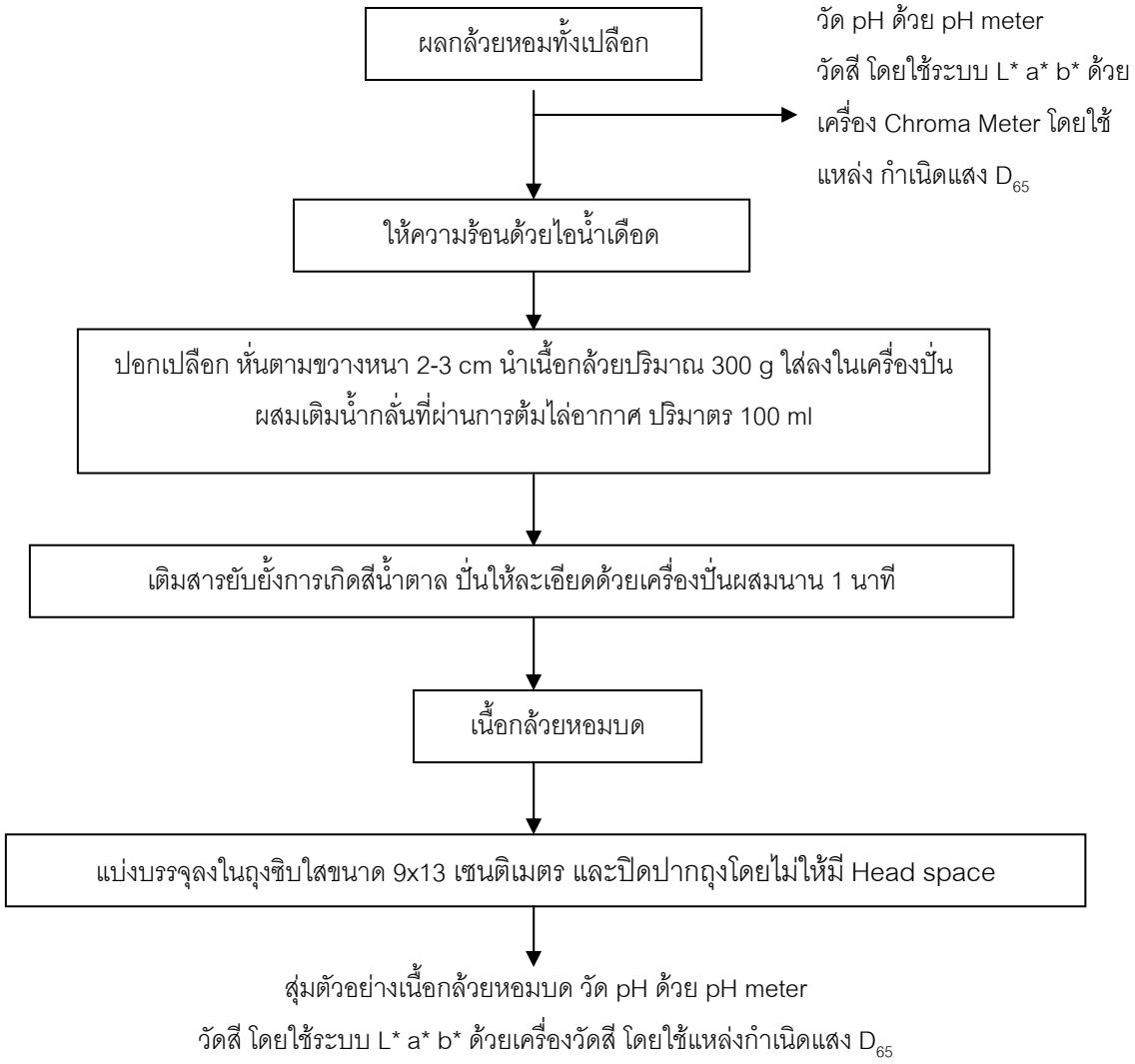
(Quantitative descriptive analysis; QDA) โดยการให้คะแนน 1–5 (คะแนน 1 จะแสดงถึงลักษณะที่ไม่ดี และคะแนน 5 จะแสดงถึงลักษณะที่ดี) ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข.2

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test

3.2.3 เลือกภาวะการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

กล้วยหอมหลังจากปอกเปลือก และหั่น จะเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว และจะเกิดสีน้ำตาลคล้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้น ขั้นตอนนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อใช้เป็นภาวะในการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบดสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมในขั้นตอนต่อไป โดยใช้กล้วยหอมที่มีระยะการสุกที่ได้จากข้อ 3.2.2 เป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเดือด ชนิดสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และปริมาณสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ โดยกำหนดให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนมี 3 ระดับ คือ 0 (ไม่มีการให้ความร้อน) 3 และ 5 นาที โดยจะเริ่มจับเวลาเมื่อจุดกึ่งกลางของผลกล้วยหอม มีอุณหภูมิ 85 °C สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้มี 2 ชนิด คือ กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิค สำหรับปริมาณสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้มี 9 ระดับ คือ 0 (ไม่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล), 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 % (น้ำหนักสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล/น้ำหนักเนื้อกล้วยหอม) ขั้นตอนการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบดทั้งหมดแสดงโดยแผนภูมิรูปที่ 3.1

เลือกภาวะการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบดที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากความสว่าง (L*) และค่าสัมประสิทธิ์ในทิศสีเหลือง (+b*) ในระบบสี L*a*b* ออกแบบการทดลองแบบ Factorial 3*2*9 in CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด

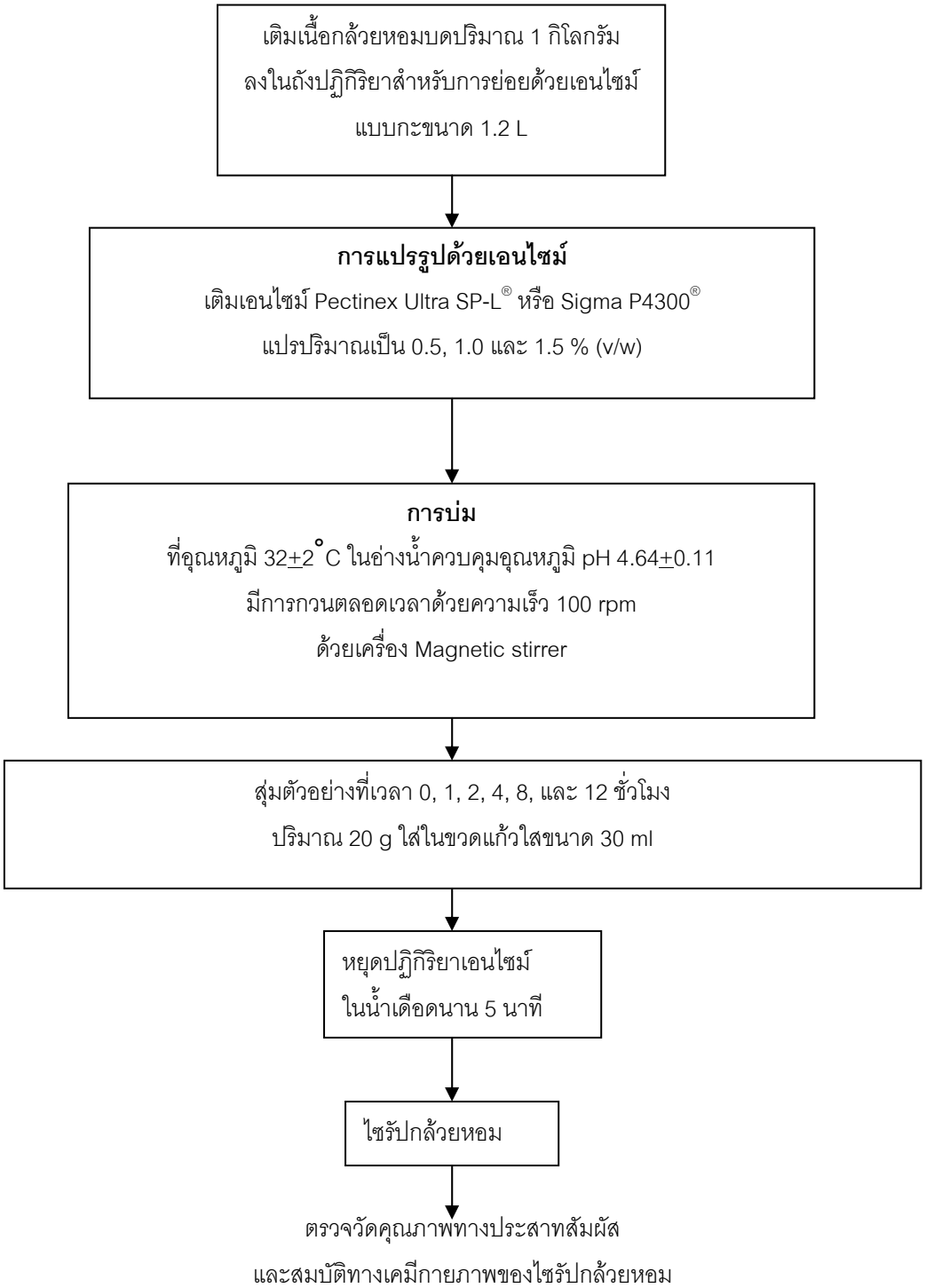
3.2.4 ประเมินภาวะการผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ

ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์กับคุณภาพทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ และหาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปด้วยเอนไซม์สำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ โดยใช้กล้วยหอมที่มีระยะการสุกที่ได้จากข้อ 3.2.2 เป็นวัตถุดิบ และนำเข้าสู่ขั้นตอนการ

เตรียมเนื้อกล้วยหอมบดโดยใช้ภาวะที่ได้จากข้อ 3.2.3 จากนั้นนำเข้าสู่การแปรรูปด้วยเอนไซม์ ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ชนิดเอนไซม์ทางการค้า ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา โดยกำหนดให้เอนไซม์ทางการค้าที่ใช้มี 2 ชนิด คือ Pectinex Ultra SP-L® และ Sigma P4300® (เนื่องจาก Sigma P4300® ที่จำหน่ายทางการค้าจะอยู่ในรูปผงของแข็งแห้ง ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมให้อยู่ในรูปของเหลว โดยนำ Sigma P4300® ปริมาณ 250 mg ละลายในน้ำกลั่น โดยให้มีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 20 ml ก่อนนำมาใช้งาน) ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้มี 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5% (v/w) และระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะอยู่ในช่วง 0-12 ชั่วโมง ทำโดยนำเนื้อกล้วยหอมบดมาเติมเอนไซม์ และบ่ม แปรชนิดเอนไซม์ ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาการบ่มตามที่ระบุไว้ข้างต้น จากนั้นหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100±5°C รายละเอียด และขั้นตอนทั้งหมดแสดงโดยแผนภูมิรูปที่ 3.2 นำตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมที่ภาวะต่างๆ มาตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางเคมีกายภาพต่อไปนี้

3.2.4.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอม ทำโดยนำไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้จากภาวะต่างๆไปใช้ในการทำขนมถ้วยฟู โดยใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ ทดแทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ในสูตรต้นแบบที่แสดงในภาคผนวก ง ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 10 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่นรสกล้วยหอม และรสหวาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) โดยการให้คะแนนเปรียบเทียบกับขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบดปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ (R) แทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ในสูตรต้นแบบที่แสดงในภาคผนวก ง ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ข.3



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการแปรรูปด้วยเอนไซม์สำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ

3.2.4.2 ค่าสี

ใช้การวัดค่า L* (ความสว่าง) และ +b* (สีเหลือง) ในระบบ L*a*b* ด้วยเครื่อง Chroma meter โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65}

3.2.4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar, RS)

ใช้การวิเคราะห์ปริมาณ RS ตามวิธีการของ Nelson (1994) (ภาคผนวก ก)

3.2.4.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solids, TSS)

สุ่มตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมมาบีบเอาส่วนของเหลวออกมาวัดค่า TSS ด้วย Hand Refractometer (0–32° Brix) ในหน่วย °Brix

3.2.4.5 ขนาดอนุภาค (Particle size)

สุ่มตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมมาวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser particle size analyzer โดยกำหนดภาวะต่างๆ ดังนี้

(1) Distribution; By Volumn

(2) Refractive index; 1.36

(3) Laser obscuration; 11±1 %

(4) Pump speed; 2,600 rpm

3.2.4.6 การแขวนลอยของอนุภาค

สุ่มขวดแก้วที่บรรจุตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 12±1 °C นาน 24 ชั่วโมง สังเกตการแยกชั้นน้ำ วัดความสูงของชั้นน้ำที่แยกออกมา และคำนวณค่าการแยกชั้นของน้ำจากสมการที่ 3.2

$$\text{การแยกชั้นของน้ำ (\%)} = \frac{\text{ความสูงของชั้นน้ำที่แยกออกมา}}{\text{ความสูงทั้งหมด}} \qquad (3.2)$$

3.2.4.7 ค่าการกรองได้ (Filterability)

สุ่มตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมปริมาณ 10 g เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 ml คนให้ตัวอย่างเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman® No 4 (20μm-25μm size particle retention) โดยใช้ปั๊มความดัน 40±1 mmHg นาน 2 นาที และคำนวณค่าการกรองได้ จากสมการที่ 3.3

$$\text{ค่าร้อยละการกรองได้} = \frac{\text{น้ำหนักของเหลวที่กรองได้}}{\text{น้ำหนักของของเหลวทั้งหมด}} \times 100 \qquad (3.3)$$

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test เลือกชนิด ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากคุณภาพทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอม

3.2.5 วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้

ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะ และตรวจสอบสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ในด้านต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลยืนยันว่าไซรัปกล้วยหอมที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มของอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ โดยนำไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้จากภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.2.4 มาตรวจวัดสมบัติต่อไปนี้

3.2.5.1 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber, TDF)

ใช้การวิเคราะห์ปริมาณ TDF ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1995) (ภาคผนวก ก)

3.2.5.2 ค่าแอกทิวิตีการกำจัดอนุมูลอิสระ (Free radical-scavenging activity)

3.2.5.2.1 การเตรียมสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอม

(1) สุ่มตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมปริมาณ 60 g เติมเอทานอล 95% ปริมาตร 300 ml จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 25 °C นาน 4.5 ชั่วโมง กวนตลอดเวลาด้วยความเร็ว 100 rpm

(2) กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman® No 1 เพื่อแยกเอากากออก นำส่วนของเหลวใสที่กรองได้ไประเหยเอาเอทานอลออกด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 75 °C เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่มีฝาปิดสนิท ที่อุณหภูมิ -15 °C ปริมาณผลได้ ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอมทองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

3.2.5.2.2 การหาค่าแอกทิวิตีการกำจัดอนุมูลอิสระ

การหาค่าแอกทิวิตีการกำจัดอนุมูลอิสระด้วย วิธี DPPH และวิธี ABTS มีขั้นตอนตามวิธีของ Maisuthisakul และคณะ (2007) และ Thaipong และคณะ (2006) ตามลำดับ เช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.1.2

3.2.5.3 ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก (Prebiotic activity score)

การหาค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก โดยการเปรียบเทียบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ เช่น *Lactobacillus acidophilus* LA5 และ *Bifidobacterium lactis* BB-12 และแบคทีเรียชนิดอื่นในระบบทางเดินอาหาร เช่น *Escherichia coli* ATCC 29922 กับสารอื่นที่ไม่เป็นสารพรีไบโอติก เช่น กลูโคส มีขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.9

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test

3.2.5.4 สารระเหยได้ (Volatile compounds)

3.2.5.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่าง สำหรับใช้วิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้โดยเทคนิค Static headspace analysis/gas chromatography/mass spectrometry (SHA/GC/MS) มีขั้นตอนดังนี้

(1) สุ่มตัวอย่างไซรัปกล้วยหอม ปริมาณ 1.00±0.01 g ใส่ในขวด Headspace vial ขนาด 25 ml และปิดฝาให้สนิท โดยพยายามใช้เวลาให้สั้นที่สุด

(2) นำตัวอย่างในขวด Headspace vial ไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 20 min เพื่อให้เข้าสู่ภาวะสมดุลก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS

3.2.5.4.2 การวิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้

การวิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS กำหนดภาวะต่างๆ ตามภาวะของ Chokeprasert และคณะ (2007) ดังแสดงในข้อ 3.2.1.10.2

3.2.6 การใช้ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมส่วนใหญ่นิยมใช้สารปรุงแต่งกลิ่นสังเคราะห์ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทดลองใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู เพื่อเป็นสารแต่งกลิ่นรสกล้วยหอมที่ได้จากธรรมชาติ ทดแทนการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นสังเคราะห์ และเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงหน้าที่ และคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู

การทดลองใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู จะเตรียมโดยใช้สูตรต้นแบบที่แสดงในภาคผนวก ง โดยแปรปริมาณไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้จากภาวะที่ดีที่สุดที่ได้

จากข้อ 3.2.4 ในสูตรเป็น 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำทดแทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ในสูตรต้นแบบ และนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) โดยการให้คะแนน ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ข.4

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง

จากการทดลองข้อ 3.2.1.1 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอม 3 ระยะ คือ 6, 7 และ 8 กับค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระในตัวทำละลายเมทานอล ที่อุณหภูมิห้อง โดยวิธี DPPH และวิธี ABTS ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะต่างๆ

Ripening stages	Free radical-scavenging activity	
	DPPH assay ($1/EC_{50}$, μg DPPH/μg FM)	ABTS assay (TEAC, mM TE/g FM)
6	$2.25^{c}\pm0.02$	$23.29^{c}\pm0.04$
7	$2.95^{b}\pm0.01$	$25.69^{b}\pm0.03$
8	$3.06^{a}\pm0.02$	$33.64^{a}\pm0.03$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.1 ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระในรูปของค่าส่วนกลับของค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ไปได้ 50% ภายในเวลาที่กำหนด ($1/EC_{50}$) ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง 3 ระยะการสุกด้วยวิธี DPPH พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.25-3.06 μgDPPH/μgFM หรือมีค่า EC_{50} (50% effective concentration) อยู่ในช่วง 0.33-0.44 μg FM/μg DPPH โดย EC_{50} เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ไปได้ 50% ภายในเวลาที่กำหนด ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระจะมีค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูงเมื่อมีค่า EC_{50} ต่ำ หรือมีค่า$1/EC_{50}$ สูง และเมื่อเปรียบเทียบค่าดังกล่าวกับค่า $1/EC_{50}$ ของส่วนต่างๆของผลไม้ ผัก และสมุนไพร ที่ศึกษา

โดย Maisuthisakul และคณะ (2007) พบว่าเนื้อของกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้ และแสดงในตารางที่ 4.1 มีค่าสูงกว่าส่วนต่างๆของผลไม้ ผัก และสมุนไพรหลายชนิด เช่น เนื้อลูกพลับ (1.72 μg DPPH/μg FM) เปลือกมังคุด (0.92 μg DPPH/μg FM) เมล็ดกระถิน (0.14 μg DPPH/μg FM) ผักปลัง (0.68 μg DPPH/μg FM) ตับเต่านา (1.22 μg DPPH/μg FM) สะเดาดิน (0.16 μg DPPH/μg FM) ผักหนาม (0.13 μg DPPH/μg FM) ผักพาย (0.13 μg DPPH/μg FM) และมะกอก (0.68 μg DPPH/μg FM) เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระในรูปของค่า TEAC ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง 3 ระยะการสุก ด้วยวิธี ABTS ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 23.29-33.64 mM TE/g FM กับค่า TEAC ของผลไม้อื่นๆที่มีการระบุว่าเป็นผลไม้ที่มีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น บลูเบอร์รี่ ซึ่งศึกษาโดย Prior และคณะ (1998) ที่มีค่า TEAC อยู่ในช่วง 13.9–45.9 mM TE/g FM จะเห็นว่าเนื้อกล้วยหอมมีค่า TEAC อยู่ในช่วงเดียวกับค่า TEAC ของบลูเบอร์รี่ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า กล้วยหอมพันธุ์หอมทองเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่มีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเนื้อกล้วยหอม ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินซี แคโรทีนอยด์ แคทีคอล เอมีน นารินจิน และ ลูทิน (Drell, 1970; Kanazawa และ Sakakibara, 2000)

จากวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่ากล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่มีระยะการสุกต่างกัน จะมีค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ เมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้นจะมีค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น ผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมีความสอดคล้องกัน ทั้งนี้เมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้นจะมีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เนื่องจากในผลไม้ที่ยังสุกไม่เต็มที่จะพบชนิด และปริมาณสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าผลไม้ที่สุกเต็มที่ เพราะโดยปกติแล้วในผลไม้ที่ยังดิบ สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์จะอยู่ในส่วนของคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ในขณะที่ผลไม้สุก สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นในโครโมพลาสต์ (chromoplast) ด้วยเป็นปริมาณมาก เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีปริมาณมากขึ้น (นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข, 2545)

จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอม 3 ระยะ คือ 6, 7 และ 8 กับค่าสี (color) ปริมาณความชื้น (moisture) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมด (TA) ในรูปของกรดซิตริก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะต่างๆ

Physicochemical characteristics		Ripening stages		
		6	7	8
Color	L*	$75.46^{a} \pm 0.35$	$71.00^{b} \pm 1.32$	$54.67^{c} \pm 0.47$
	-a*	$1.48^{b} \pm 0.20$	$1.98^{a} \pm 0.08$	$1.43^{b} \pm 0.19$
	+b*	$33.10^{a} \pm 1.98$	$34.88^{a} \pm 2.09$	$26.25^{b} \pm 0.97$
	C*	$33.13^{a} \pm 1.98$	$34.94^{a} \pm 2.08$	$26.29^{b} \pm 0.97$
	h°	$87.43^{a} \pm 0.26$	$86.75^{b} \pm 0.21$	$86.88^{b} \pm 0.33$
Moisture (%)		$76.13^{c} \pm 0.24$	$77.53^{b} \pm 0.08$	$79.28^{a} \pm 0.19$
pH		4.96^{b} +0.05	$5.74^{a} \pm 0.14$	$5.86^{a} \pm 0.07$
TA (%)		$3.47^{a} \pm 0.11$	$2.48^{b} \pm 0.12$	$1.92^{c} \pm 0.08$
RS (mg of glucose/g of banana flesh)		$93.00^{c} \pm 1.80$	$135.99^{b} \pm 1.95$	$172.39^{a} \pm 1.82$
TSS (°Brix)		$22.5^{a} \pm 0.50$	$20.5^{b} \pm 0.50$	$18.0^{c} \pm 0.84$
TDF (% dry basis)		$21.27^{ns} \pm 0.58$	$21.72^{ns} \pm 0.49$	$22.01^{ns} \pm 0.14$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอน ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่า สีของเนื้อกล้วยหอมมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุก โดยความสว่าง (L*) ของเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าลดลง เมื่อกล้วยหอมสุกมากขึ้น (เปลี่ยนจากระยะ 6 ไปเป็นระยะ 7 และ 8 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และกล้วยที่สุกระยะ 7 เนื้อจะมีความอิ่มตัวของสีเหลืองมากกว่าระยะ 6 ในขณะที่เนื้อของกล้วยหอมระยะ 8 จะมีสีเหลืองอมเทา ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจาก ปริมาณสารที่ให้สีเหลืองแก่เนื้อของผลไม้ เช่น แคโรทีนอยด์จะมีปริมาณ

เพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้สุกมากขึ้น เมื่อพิจารณาความสดของสี (chroma) หรือความอิ่มตัว (saturation) ของเนื้อกล้วยหอมจากค่า C* พบว่าเนื้อของกล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 7 จะมีความสดของสีหรือความอิ่มตัว มากกว่าระยะ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าองศา Hue (h°) ของเนื้อกล้วยหอม พบว่าเนื้อของกล้วยหอมที่สุกระยะ 6 จะมีค่าองศา Hue สูงกว่าระยะ 7 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นเนื้อของกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 จึงมีสีเหลืองสดมากกว่าระยะอื่นๆ ที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นในเนื้อกล้วยหอม พบว่าเมื่อกล้วยหอมสุกมากขึ้น จากระยะ 6 ไปเป็นระยะ 7 และ 8 ตามลำดับ จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ความชื้นของเนื้อกล้วยที่เพิ่มขึ้นเมื่อกล้วยหอมสุกมากขึ้น มีสาเหตุมาจากการสลายโมเลกุลพอลีแซกคาไรด์ในกระบวนการหายใจ ได้เป็นน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ John และ Marchal (1995) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในเนื้อกล้วยพันธุ์ *Giant Cavendish* (AAA group) ที่ระยะต่างๆของการเก็บเกี่ยว พบว่าระยะการสุกจะทำปริมาณต่างๆที่ศึกษาเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยเนื้อกล้วยจะมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อมากขึ้นเมื่อกล้วยหอมสุกมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า pH พบว่า เมื่อกล้วยหอมสุกมากขึ้น จากระยะ 6 ไปเป็นระยะ 7 และ 8 ตามลำดับ เนื้อกล้วยหอมจะมีค่า pH เพิ่มขึ้น โดย pH ของเนื้อกล้วยหอมสุกระยะ 6 มีค่าแตกต่างจากระยะ 7 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า pH ของเนื้อกล้วยหอมสุกระยะ 7 และ 8 มีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกในเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าลดลงเมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ของเนื้อกล้วยหอมข้างต้น ทั้งนี้เมื่อผลไม้สุกมากขึ้นจะมีค่า pH เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากปริมาณกรดที่ลดลง เนื่องจากกล้วยหอมทองจะมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว และจากขั้นตอนของกระบวนการหายใจซึ่งประกอบด้วยกรดชนิดต่างๆ โดยกรดต่างๆในผลไม้ เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก จะเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในวัฏจักร Krebs ของกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณกรดในเนื้อกล้วยหอมทองลดลงเมื่อผลไม้สุก (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกในเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 6, 7 และ 8 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อกล้วยหอมที่ระยะการสุกต่างๆ พบว่าเมื่อกล้วยหอมมีระยะสุกมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

โดยมีสาเหตุมาจากในช่วงการสุกของกล้วยหอม แป้งซึ่งมีมากตอนผลกล้วยดิบจะเริ่มลดลง และเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lii และคณะ (1982) และ Silayoi (1987) ซึ่งพบว่า ในช่วงการสุกผลกล้วยหอมทอง เนื้อจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น

จากการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะต่างๆ พบว่าเมื่อกล้วยหอมสุกมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำลดลง ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากการเพิ่มปริมาณความชื้น หรือปริมาณน้ำทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เจือจางลง จึงแสดงค่ารวมของปริมาณของแข็งละลายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในเนื้อกล้วยหอมสุกระยะ 6, 7 และ 8 พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.27 ถึง 22.01% โดยน้ำหนักแห้ง ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่ากล้วยหอมพันธุ์หอมทองเป็นแหล่งสำคัญของเส้นใยอาหาร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่พบในพืชชนิดอื่นๆที่จัดอยู่กลุ่มที่มีเส้นใยอาหารสูง เช่น แอปเปิ้ล เชอรี่ แพร์ และแครอท ซึ่งได้มีการรายงานโดย Nawirska และ Kwásniewska (2005) ว่ามีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเฉลี่ย 98.74, 91.37, 94 และ 95% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จะพบว่ากล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่ทำการศึกษามีปริมาณเส้นใยอาหารค่อนข้างน้อย นอกจากนี้จากการทดลองพบว่า กล้วยหอมมีระยะสุกมากขึ้นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะต่างๆมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lii และคณะ (1982) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยอาหารของเนื้อกล้วยในประเทศไต้หวันที่ระยะการสุกต่างๆ ซึ่งพบว่าในระหว่างการสุกของผลกล้วยหอม ปริมาณเส้นใยอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

จากการทดลองข้อ 3.2.1.9 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอม 3 ระยะ คือ 6, 7 และ 8 กับค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก (Prebiotic activity score) จากการส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ 2 ชนิด คือ *Lactobacillus acidophilus* LA5 และ *Bifidobacterium lactis* BB-12 ได้ผลดังแสดงโดยตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1

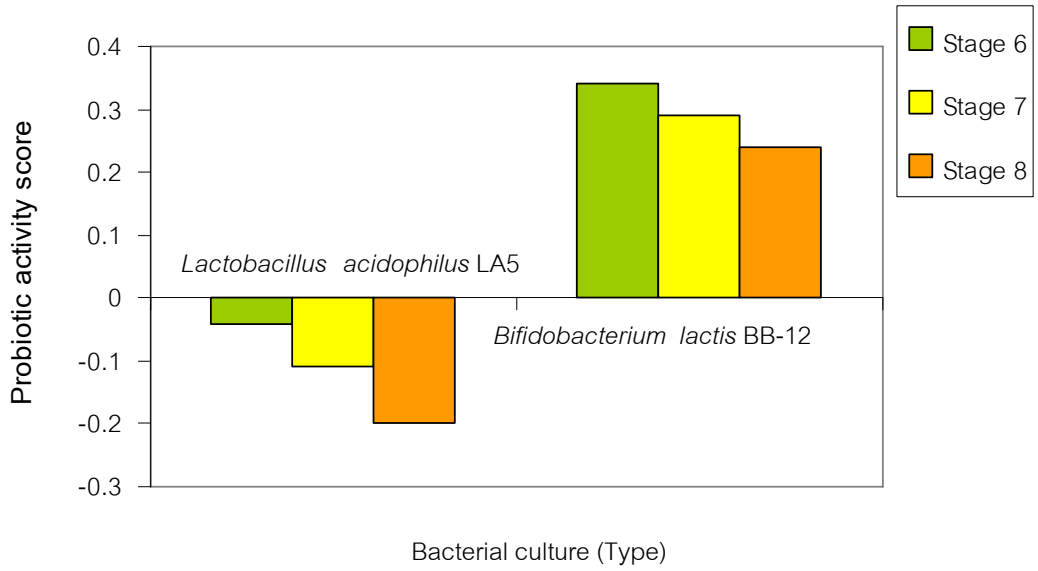
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบจำนวนประชากรของเซลล์แบคที่เรียที่เพิ่มขึ้นใน 24 ชั่วโมง เมื่อเลี้ยงในอาหาร MRS ที่มีกลูโคส หรือมีเนื้อกล้วยหอมสุกระยะต่างๆเป็นองค์ประกอบ

Bacterial culture	Cell population [$\log_{10}$(cfu/ml)]			
	Glucose	Ripening stages		
		6	7	8
Lactobacillus acidophilus LA5	$1.95^{i}\pm0.07$	$2.44^{g}\pm0.09$	$2.51^{fg}\pm0.07$	$2.59^{f}\pm0.04$
Bifidobacterium lactis BB-12	$2.10^{h}\pm0.04$	$3.43^{c}\pm0.06$	$3.58^{b}\pm0.07$	$3.71^{a}\pm0.03$
Escherichia coli ATCC 29922	$2.00^{i}\pm0.03$	$2.58^{f}\pm0.04$	$2.81^{e}\pm0.02$	$3.05^{d}\pm0.05$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

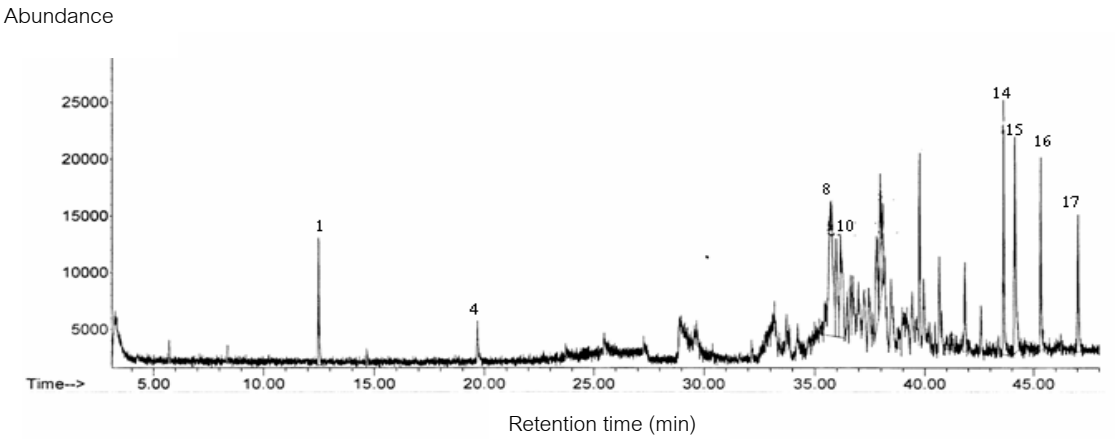
ค่าตัวเลขทั้งหมดที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าสารพรีไบโอติกในเนื้อกล้วยหอมสุกทั้ง 3 ระยะ มีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน โดยจากการทดลองพบว่าสารพรีไบโอติกในเนื้อกล้วยหอมสุกสามารถส่งเสริมการเจริญของ *Bifidobacterium lactis* BB-12 ได้ดีกว่า *Lactobacillus acidophilus* LA5 และระยะการสุกของผลกล้วยหอมมีผลต่อจำนวนประชากรของเซลล์แบคที่เรียที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยเนื้อกล้วยหอมที่สุกมากขึ้น จะเพิ่มจำนวนประชากรของเซลล์แบคทีเรีย แต่อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของเนื้อกล้วยหอมต่อจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้ในการศึกษาจะมีค่าลดลงเมื่อใช้เนื้อกล้วยหอมที่สุกมากขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากจำนวนประชากรของเซลล์ *Escherichia coli* ATCC 29922 ที่เพิ่มขึ้นมากเมื่อผลกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้น ซึ่งน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อกล้วยหอมจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะการสุกที่มากขึ้น และน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นนี้จะไปส่งเสริมการเจริญของ *Escherichia coli* ATCC 29922 มีผลให้ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของเนื้อกล้วยหอมที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ 3.3 มีค่าลดลง

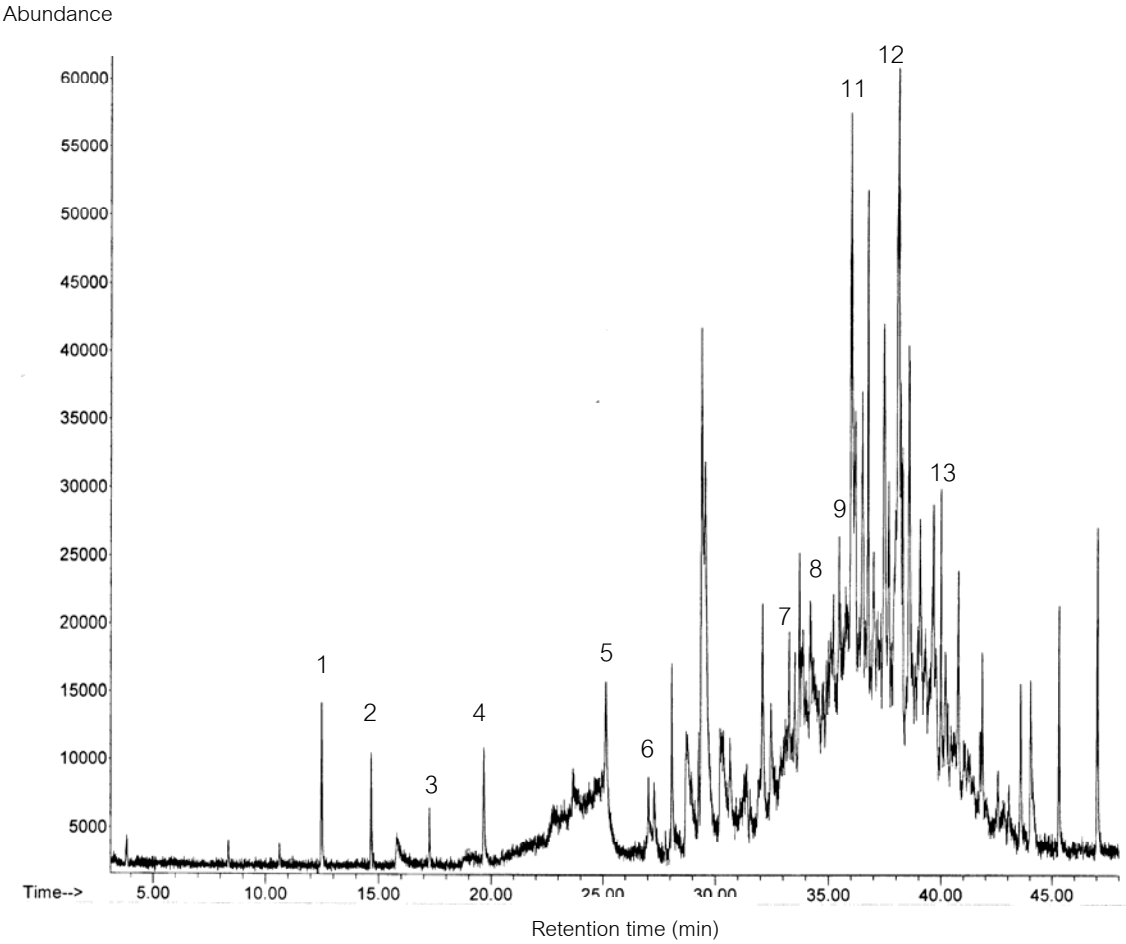


รูปที่ 4.1 แอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของเนื้อกล้วยหอมสุกในระยะต่างๆ

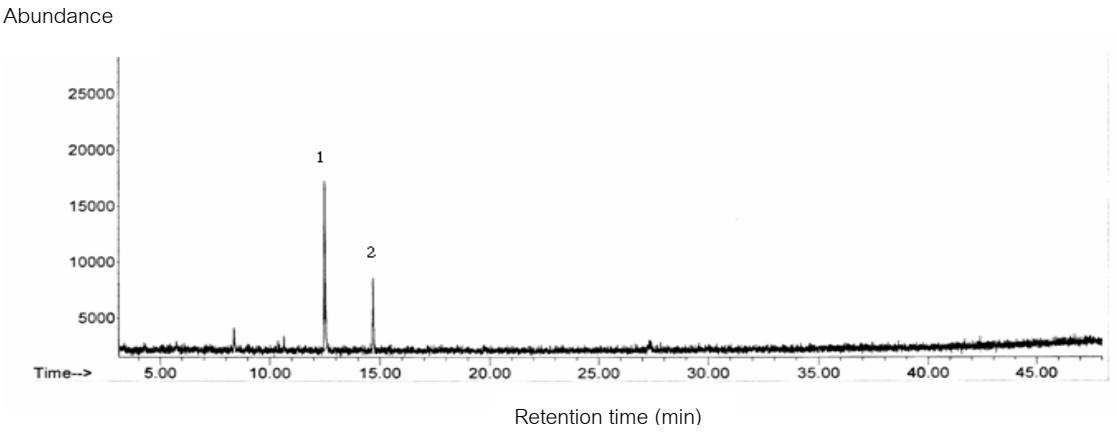
จากการทดลองข้อ 3.2.1.10 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอม 3 ระยะ คือ 6, 7 และ 8 กับชนิด และปริมาณสารระเหยได้ในเนื้อกล้วยหอมให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2-4.4 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.2 Chromatogram ของสารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะ 6 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS



รูปที่ 4.3 Chromatogram ของสารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะ 7 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS



รูปที่ 4.4 Chromatogram ของสารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะ 8 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS

จากการวิเคราะห์หาชนิดของสารระเหยได้โดยเทคนิค SHA/GC/MS ในการทดลองนี้พบว่ามีสารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอม 17 ชนิด ทั้งนี้จะพบชนิด และจำนวนสารระเหยได้แตกต่างกันในเนื้อกล้วยหอมที่สุกต่างระยะกัน จากรูปที่ 4.2-4.4 และตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 6, 7 และ 8 จะพบสารระเหยได้ 8, 12 และ 2 ชนิดตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเฉพาะสารระเหยได้ที่เป็นสารในกลุ่มเอสเทอร์ ซึ่งมีความสำคัญมากที่สุดต่อกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอมที่ได้จากการทดลอง คือ 3-Methylbutyl ester (Peak No1), 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester (Peak No2) และ Phenylmethyl ester (Peak No3) จะเห็นว่า สาร 3-Methylbutyl ester จะพบในเนื้อกล้วยหอมสุกทั้ง 3 ระยะที่ศึกษา โดยระยะที่ 8 จะมีความสูงของ Peak มากที่สุด และระยะที่ 6 จะมีความสูงของ Peak น้อยที่สุด ส่วนสาร 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester จะพบในเนื้อกล้วยหอมสุกระยะ 7 และ 8 โดยระยะที่ 7 จะมีความสูงของ Peak มากกว่าระยะที่ 8 ทั้งนี้ความสูง ของ Peak จะแสดงถึงปริมาณของสารชนิดนั้นๆ ที่ตรวจพบ และสาร Phenylmethyl ester จะพบในเนื้อกล้วยหอมสุกระยะ 7 เท่านั้น โดยได้มีการรายงานไว้ว่าสาร 3-Methylbutyl ester, 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester เป็นสารที่ให้กลิ่นเหมือนกลิ่นกล้วย (Banana-like) (Myers, Issenberg และ Wick, 1969) และสาร 3-Methylbutyl ester, 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester และ Phenylmethyl ester ได้มีการรายงานว่าเป็นสารที่ให้กลิ่นกล้วยแบบผลไม้ (fruity) และแบบดอกไม้ (floral) (Tressl and Jennings, 1972; Shiota, 1993; P´erez และคณะ, 1997) ในขณะที่สาร 3-methylbutyl ester เป็นสารหลักที่พบ และทำให้เกิดกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง (Salmon และคณะ, 1996)

ตารางที่ 4.4 สารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะต่างๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS

Peak No[a]	Volatile compounds	ripening stages		
		6	7	8
1	3-Methylbutyl ester (Isoamyl butyrate)	√	√	√
2	3-Methyl-, 3-methylbutyl ester		√	√
3	Phenylmethyl ester		√	
4	Benzothiazole	√	√	
5	6-Quinolinamine, 2-methyl		√	
6	1-Decanamine		√	
7	1-Ethyl-2-methyl cyclododecane		√	
8	Cyclohexadecane	√	√	
9	Benzyl (dideuterated) methyl ether		√	
10	1-Nonadecene	√		
11	Z-8-Hexadecane		√	
12	8-Heptadecene		√	
13	Eicosane		√	
14	Docosane	√		
15	Bis (chlorophynyl) sulfone	√		
16	Tricosane	√		
17	Octacosane	√		

หมายเหตุ: a ค่า Peak numbers จะตรงกับหมายเลขที่กำกับบนจุดยอดของกราฟในรูปที่ 4.1-4.3

√ ตรวจพบ

ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Macku และ Jennings (1987) ที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่สามารถระเหยได้ระหว่างการสุกของกล้วย พบว่า มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเปลือกกล้วยเริ่มมีสีน้ำตาล จากนั้นจะมีปริมาณลดลงเมื่อกล้วยสุกเต็มที่ นอกจากนี้ผลที่ได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tressel และ Jennings (1972) และ Mayr และคณะ (2003) ที่

ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่สามารถระเหยได้ง่ายในเนื้อกล้วย โดยพบว่า Isoamyl butyrate เป็นสารประกอบหลักในกล้วยสุก และทำให้เกิดกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ

ดังนั้นจากชนิดสารในกลุ่มเอสเทอร์ที่พบในกล้วยหอมที่สุกระยะต่างๆ และค่าความสูงของ Peak แสดงให้เห็นว่ากล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะ 7 มีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง และมีกลิ่นที่หอมมากที่สุด

4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง

จากการทดลองข้อ 3.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุก 6, 7 และ 8 กับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเมื่อผลกล้วยเริ่มสุกจนสุกงอม และคัดเลือกระยะการสุกของกล้วยหอมที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไซรัปกล้วยหอม โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 20 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวม ด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

จากคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของเนื้อกล้วยหอมทอง ที่แสดงโดยตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาคะแนนด้านสีของเนื้อกล้วยหอมพบว่า กล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 7 มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าระยะ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยกล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 7 มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.21-3.63 คะแนน (มีสีเหลืองปานกลาง) ในขณะที่กล้วยหอมที่สุกระยะ 8 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.96 คะแนน (มีสีคล้ำผิดปกติเล็กน้อย) ในด้านความสม่ำเสมอของสีของเนื้อกล้วยหอมพบว่า กล้วยหอมที่สุกระยะ 6 มีคะแนนด้านสีเฉลี่ยสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 4.42 คะแนน (สีค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น) ในขณะที่กล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.66 คะแนน (สีไม่สม่ำเสมอ มีจุดด่างดำเล็กน้อย) และกล้วยหอมที่สุกระยะ 8 มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าระยะอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.97 คะแนน (สีไม่สม่ำเสมอ มีจุดด่างดำ หรือมีรอยด่างสีน้ำตาลค่อนข้างมาก) ผลที่ได้สอดคล้องกับค่าสี ที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.1.2 ที่พบว่า กล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 7 มีค่าสีเหลือง ($+b^*$) สูงกว่าระยะ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 คะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของเนื้อกล้วยหอมสุกระยะต่างๆ

Sensory attributes	ripening stages		
	6	7	8
Yellowness	3.21^{a} ±0.07	3.63^{a} ±0.59	1.96^{b} ±0.87
Evenness of color	4.42^{a} ±0.19	3.66^{b} ±1.05	1.97^{c} ±0.58
Banana flavor	3.62^{b} ±0.55	4.37^{a} ±0.24	3.17^{c} ±0.21
No off-flavor	4.72^{a} ±0.19	4.20^{b} ±0.61	2.84^{c} ±0.56
Sweetness	3.86^{b} ±0.12	4.38^{a} ±0.55	3.96^{b} ±0.40
Global acceptability	3.91^{a} ±0.35	3.74^{a} ±0.55	1.90^{b} ±0.42

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

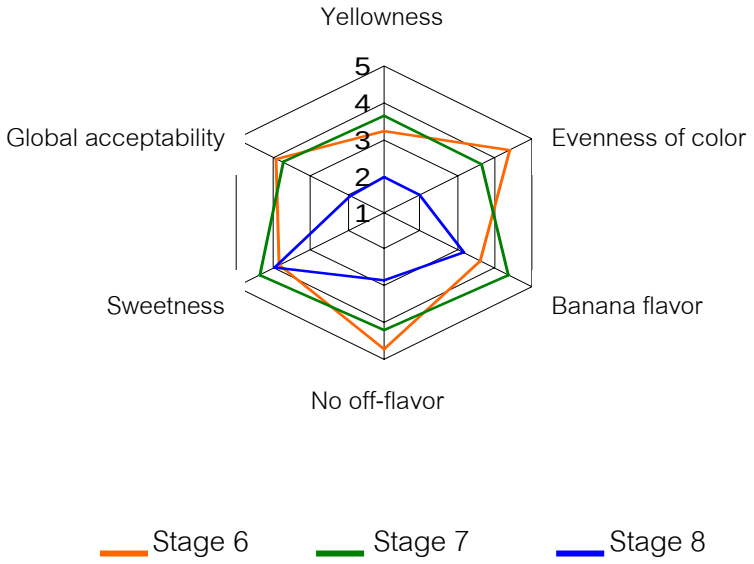
ค่าตัวเลขในแนวนอน ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนของกลิ่นรสกล้วยหอมพบว่า กล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 4.37 คะแนน (มีกลิ่นรสกล้วยหอมที่หอมหวานค่อนข้างชัดเจน) ในขณะที่กล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 8 จะมีกลิ่นรสกล้วยหอมเล็กน้อย ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองข้อ 3.2.1.9 ที่พบว่า กล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทองชัดเจนมากที่สุด และเมื่อพิจารณาการไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม ซึ่งหมายถึงกลิ่นรสที่ไม่เป็นที่ต้องการ เช่น กลิ่นยีสต์ กลิ่นหมัก และกลิ่นอับ เป็นต้น พบว่ากล้วยหอมที่สุกระยะ 6 มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 4.72 คะแนน (ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม) และจะพบกลิ่นรสแปลกปลอมปานกลางในกล้วยหอมที่สุกระยะ 8

ด้านรสหวานพบว่ากล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 4.38 คะแนน (มีรสหวานค่อนข้างมาก) ในขณะที่กล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 8 จะมีรสหวานใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาด้านความชอบรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนกล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 7 สูงกว่าระยะ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยกล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 7 มีคะแนนเฉลี่ยอยู่

ในช่วง 3.74-3.91 คะแนน (ชอบปานกลาง) ในขณะที่กล้วยหอมที่สุกระยะ 8 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 คะแนน (ไม่ชอบปานกลาง)



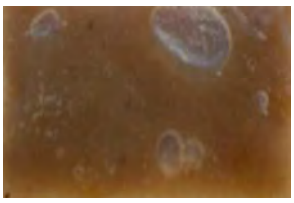
รูปที่ 4.5 QDA display แบบใยแมงมุมของเนื้อกล้วยหอมสุกระยะต่างๆ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับกล้วยหอมที่สุกระยะ 6 และ 7 แต่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับกล้วยหอมที่สุกระยะ 8 เนื่องจากมีคะแนนด้านความชอบรวมต่ำกว่า 3 คะแนน อย่างไรก็ตามกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีคะแนนรวมเฉลี่ยสูงไม่แตกต่างจากกล้วยหอมที่สุกระยะ 6 ทั้งยังมีคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญในด้านกลิ่นรสกล้วยหอม และรสหวานสูงกว่ากล้วยหอมที่สุกระยะ 6 (รูปที่ 4.5) ดังนั้นจึงเลือกใช้กล้วยหอมที่สุกระดับ 7 เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไซรัปกล้วยหอมในขั้นตอนต่อไป โดยเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะนี้ มีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ ABTS เท่ากับ 2.95μg DPPH/μg FM และ 25.69mM TE/g FM ตามลำดับ มีความชื้น 77.53% pH 5.74 มีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก 2.48% มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 135.99 mg Glucose/g มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 20.5 °Brix

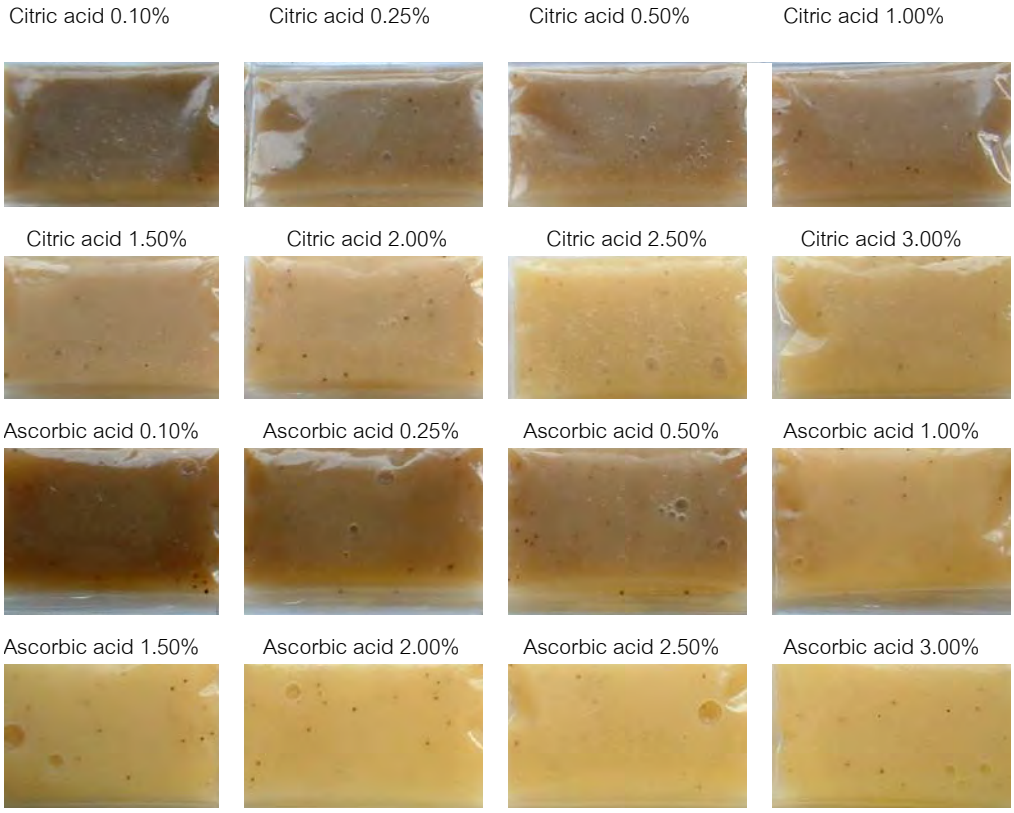
4.3 เลือกภาวะการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

กล้วยหอมหลังจากปอกเปลือก และหั่น จะเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว และจะเกิดสีน้ำตาลคล้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมที่ได้มีสีน้ำตาลคล้ำ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อกล้วยหอม ก่อนนำเนื้อกล้วยหอมนั้นไปใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมในขั้นตอนต่อไป โดยนำกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 ซึ่งเป็นระยะที่เลือกได้จากข้อ 4.2 มาหาภาวะการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบดเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยกำหนดให้ Control คือ เนื้อกล้วยหอมบดที่ไม่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จากการทดลองข้อ 3.2.3 พบว่า ภาวะการเตรียมวัตถุดิบมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด โดยให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6-4.11 และตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่าเมื่อเนื้อกล้วยบดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ความสว่าง (L*) ที่วัดได้จะมีค่าลดลงมาก ดังนั้นค่า L* จึงเป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลได้ชัดเจนที่สุด โดยค่า L* ที่ลดลงจะแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อกล้วยหอมบดส่วนใหญ่จะเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ PPO ในเนื้อกล้วย

จากรูปที่ 4.8 และ 4.10 จะเห็นว่า การนำผลกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มาให้ความร้อน โดยใช้ไอน้ำเดือดจนจุดกึ่งกลางของผลกล้วยมีอุณหภูมิ 85 °C นาน 3 นาที และ 5 นาที โดยไม่มีการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เนื้อกล้วยหอมบดที่ได้จะเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่า Control (รูปที่ 4.7) แต่เนื้อกล้วยหอมบดที่ได้จะมีสีค่อนข้างคล้ำ และจากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านการให้ความร้อนนาน 5 นาที จะมีค่าความสว่างมากกว่าเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านการให้ความร้อนนาน 3 นาที แต่ความสว่างจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C นาน 3 และ 5 นาที ไม่สามารถทำให้เอนไซม์ PPO สูญเสียกิจกรรมอย่างสมบูรณ์ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Galeazzi, Sgarbieri และ Constantinides (1981) ที่แยกเอนไซม์ PPO จากกล้วยหอมเขียวค่อม (Dwarf Cavendish) และนำมาทำให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ศึกษาสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของเอนไซม์ โดยใช้แคทีคอล (catechol) เป็นซับสเตรต พบว่าเอนไซม์จะสูญเสียกิจกรรมมากกว่า 90% เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C นาน 5 นาที

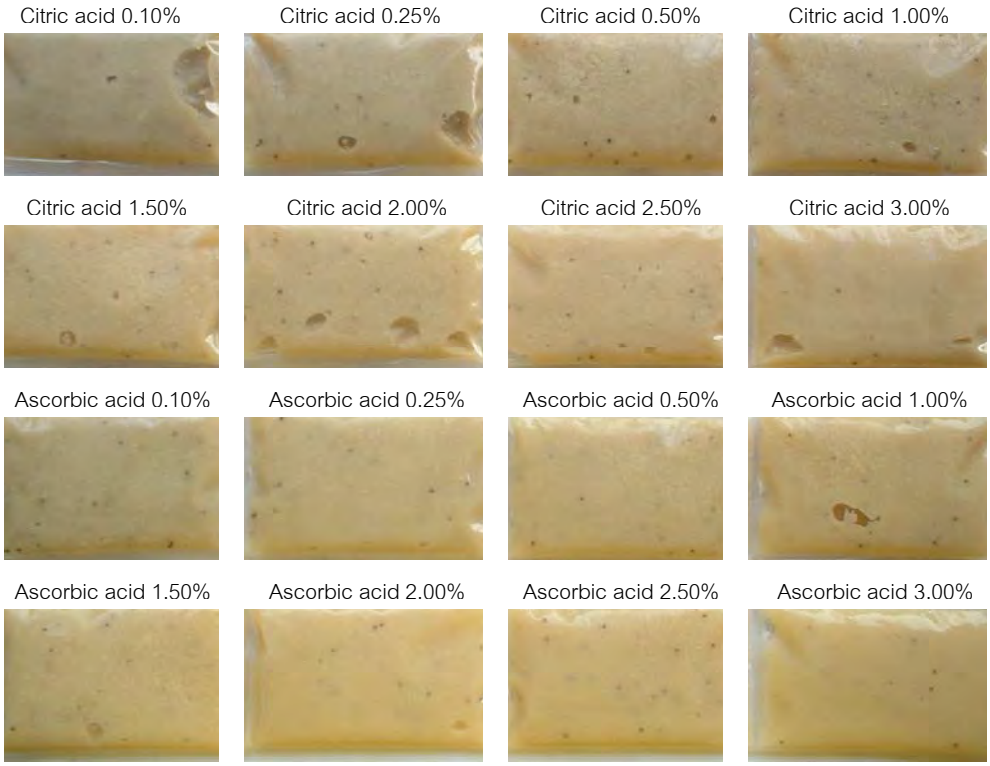


รูปที่ 4.6 สีเนื้อกล้วยหอมบดที่ไม่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Control) และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน



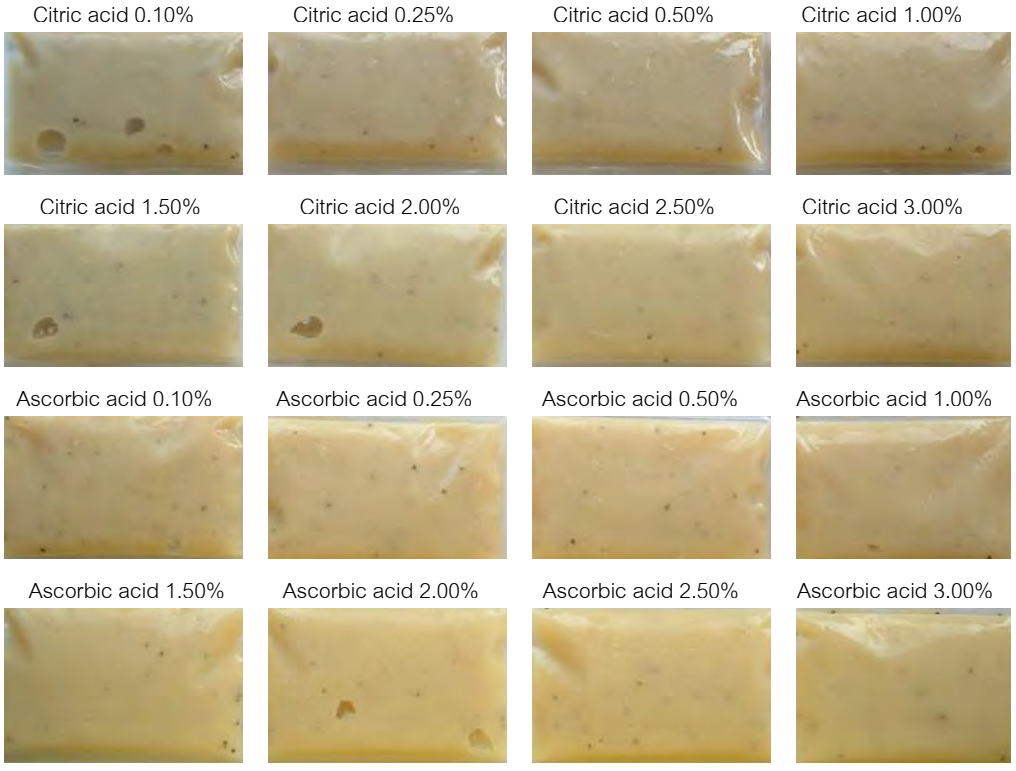
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบสีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิคความเข้มข้นต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน

รูปที่ 4.8 สีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยความร้อนนาน 3 นาที และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบสีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยความร้อนนาน 3 นาที ร่วมกับกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิคความเข้มข้นต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน

รูปที่ 4.10 สีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยความร้อนนาน 5 นาที และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบสีเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยความร้อนนาน 5 นาที ร่วมกับกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิคความเข้มข้นต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12±1°C) นาน 7 วัน

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบสีจากค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (+b*) ในระบบสี L*a*b* ของเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกับตัวอย่างควบคุม

Blanching Time (min)	Type of Treatment	Amount of Acid (%)	pH	Storage Time (day)								Average of	
				0		3		5		7		L*	+b*
				L*	+b*	L*	+b*	L*	+b*	L*	+b*		
0	Control		6.19±0.08	38.05±0.92	10.14±0.79	34.28±1.83	9.06±0.95	32.82±0.55	8.81±1.06	33.11±0.64	7.52±0.69	34.57±2.37	8.88±1.23
	Citric acid	0.10	5.41±0.02	41.04±1.59	12.55±1.23	37.70±1.52	11.06±1.18	36.41±1.60	10.32±0.74	37.34±0.67	10.46±0.67	38.12±2.18	11.10±1.02
		0.25	4.79±0.07	45.17±1.56	18.50±0.96	43.56±1.72	17.28±1.00	42.40±1.98	16.58±0.78	42.47±1.01	17.07±0.74	43.40±1.80	15.36±2.27
		0.50	4.31±0.08	51.18±1.08	16.83±0.94	45.73±0.97	15.78±0.22	43.15±1.02	15.66±0.59	42.81±0.63	15.05±0.44	45.72±3.69	15.83±0.74
		1.00	3.89±0.04	52.11±0.87	20.95±0.67	47.78±1.30	18.97±0.71	45.21±1.21	16.80±0.51	45.17±0.66	16.87±0.16	47.57±3.08	18.40±1.98
		1.50	3.52±0.10	53.55±0.91	23.68±0.67	49.27±0.75	22.04±0.69	48.41±0.44	22.11±0.60	47.45±0.88	20.23±0.25	49.67±2.52	22.02±1.41
		2.00	3.36±0.05	55.00±1.10	28.75±0.76	51.68±0.86	26.86±0.10	48.87±1.47	24.68±1.19	46.02±0.66	23.11±0.94	50.39±3.60	25.85±2.47
		2.50	3.12±0.02	56.95±0.90	35.97±0.50	51.02±0.94	32.79±0.33	48.65±1.76	31.72±0.84	48.63±1.62	31.14±1.01	51.31±3.73	32.91±2.15
		3.00	3.02±0.02	57.78±0.81	36.34±1.14	50.09±1.01	32.70±0.62	50.07±1.36	31.61±0.68	48.30±1.20	31.28±0.73	51.56±3.94	32.98±2.32
	Ascorbic acid	0.10	5.72±0.08	35.53±1.45	9.17±1.56	32.83±0.37	8.17±1.45	33.20±0.47	7.79±0.91	32.98±0.81	6.85±0.42	33.64±1.38	7.99±1.33
		0.25	5.40±0.02	44.61±1.17	13.19±0.92	35.93±1.25	11.37±1.23	34.27±1.37	10.26±0.79	33.62±1.91	8.74±0.52	37.11±4.77	10.89±1.87
		0.50	4.92±0.09	50.54±1.37	18.09±0.83	46.73±2.34	15.47±1.75	44.10±1.28	15.79±1.63	41.13±1.00	14.02±0.33	45.63±3.86	15.84±1.68
		1.00	4.42±0.12	54.23±0.52	20.52±1.28	50.38±0.92	19.09±1.40	50.46±0.60	19.05±0.53	50.60±0.32	18.66±0.41	51.42±1.78	19.33±0.82
		1.50	4.13±0.13	55.25±1.26	26.48±1.63	51.70±0.77	23.33±1.08	51.20±0.92	23.42±0.87	51.76±0.76	22.99±0.55	52.48±1.87	24.06±1.63
		2.00	3.98±0.13	55.96±1.06	37.42±1.21	51.57±1.09	33.03±0.59	50.64±0.51	33.54±1.45	50.07±0.21	32.32±0.16	52.06±2.51	34.08±2.28
		2.50	3.85±0.19	57.29±1.31	38.82±2.01	51.86±1.73	34.90±0.98	50.76±1.67	34.85±1.09	51.32±0.88	34.41±0.79	52.81±3.00	35.75±2.06
		3.00	3.65±0.17	58.65±1.26	39.05±1.29	50.98±0.93	33.41±0.78	50.78±0.72	33.85±1.00	52.21±0.70	33.12±0.75	53.16±3.46	34.86±2.81

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) เปรียบเทียบสีจากค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (+b*) ในระบบสี L*a*b* ของเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกับตัวอย่างควบคุม

Blanching Time (min)	Type of Treatment	Amount of Acid (%)	pH	Storage Time (day)								Average of	
				0		3		5		7			
				L*	+b*	L*	+b*	L*	+b*	L*	+b*	L*	+b*
3	Citric acid	0	5.41±0.08	61.50±1.31	15.77±0.65	60.92±0.47	16.89±0.65	59.96±0.93	15.84±1.05	59.14±1.15	15.18±0.40	60.38±1.28	15.92±0.89
		0.10	4.98±0.08	64.63±0.53	18.06±0.12	63.36±1.19	18.22±0.79	62.95±1.24	17.27±0.51	62.24±1.29	16.97±0.69	63.29±1.31	17.63±0.74
		0.25	4.61±0.10	65.31±0.93	19.47±1.35	63.83±0.91	18.54±0.72	63.14±1.48	18.15±0.63	62.66±1.87	17.73±1.25	63.73±1.56	18.47±1.11
		0.50	4.27±0.10	66.17±0.76	23.05±1.50	65.61±1.05	22.07±1.34	64.88±1.50	20.42±1.77	64.10±1.61	19.53±0.76	65.19±1.36	21.27±1.87
		1.00	3.85±0.08	68.74±1.29	34.74±0.66	67.94±0.74	33.74±0.67	66.69±1.17	32.58±0.99	66.25±1.25	32.05±0.49	67.40±1.42	33.28±1.20
		1.50	3.50±0.08	70.34±1.04	40.81±0.69	69.98±1.30	44.44±1.21	69.04±1.38	43.55±0.71	67.63±1.36	42.83±1.19	69.25±1.54	42.91±1.55
		2.00	3.26±0.08	70.53±1.19	39.96±1.51	69.39±1.74	44.48±1.37	69.03±2.11	42.73±0.24	67.69±0.82	42.03±0.83	69.16±1.69	42.30±1.87
		2.50	3.06±0.06	71.75±1.84	41.24±1.34	70.71±1.96	43.96±1.12	70.01±2.18	44.44±1.31	68.03±1.39	43.58±1.81	70.12±2.13	43.31±1.42
		3.00	2.98±0.03	71.63±2.11	40.72±1.44	69.97±1.74	44.53±0.95	69.45±1.60	44.44±1.07	68.18±1.62	43.20±1.47	69.81±2.00	43.22±1.78
	Ascorbic acid	0.10	5.05±0.07	65.92±0.93	21.12±0.98	63.67±0.83	19.80±2.00	64.33±1.00	19.50±1.50	62.00±0.94	17.19±1.40	63.98±1.67	19.41±1.96
		0.25	4.91±0.07	65.78±1.28	21.17±1.63	65.46±1.90	21.23±1.69	65.51±1.65	20.21±1.92	64.57±1.90	19.56±1.52	65.33±1.53	20.54±1.62
		0.50	4.62±0.08	67.59±2.05	22.95±1.44	66.77±1.27	21.60±1.33	66.30±1.69	21.56±1.80	66.27±1.05	20.98±1.61	66.73±1.45	21.77±1.53
		1.00	4.31±0.11	69.96±1.38	35.03±1.67	69.26±1.41	33.77±1.87	69.31±2.04	33.94±1.67	69.12±1.82	33.67±1.77	69.41±1.48	34.10±0.63
		1.50	4.08±0.07	70.15±1.80	45.91±2.20	70.03±1.37	45.63±1.81	68.90±1.90	44.91±1.88	70.03±1.00	45.11±1.01	69.78±1.43	45.39±0.46
		2.00	3.94±0.02	71.47±2.17	45.91±1.67	70.54±2.58	45.55±2.40	70.59±1.72	45.41±2.24	69.89±2.38	44.52±2.18	70.62±1.99	45.35±0.59
		2.50	3.88±0.02	71.73±1.67	46.71±1.76	71.07±2.58	46.23±2.03	70.96±2.27	46.28±1.80	70.23±2.71	45.73±2.09	71.00±2.07	46.24±0.40
		3.00	3.71±0.03	71.83±2.24	47.58±1.34	71.39±1.98	47.48±1.87	72.15±2.09	47.51±1.71	69.91±2.03	43.59±2.60	71.32±1.99	46.54±1.97

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) เปรียบเทียบสีจากค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (+b*) ในระบบสี L*a*b* ของเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกับตัวอย่างควบคุม

Blanching Time (min)	Type of Treatment	Amount of Acid (%)	pH	Storage Time (day)								Average of	
				0		3		5		7		L*	+b*
				L*	+b*	L*	+b*	L*	+b*	L*	+b*		
5	Citric acid	0	5.37±0.04	65.23±0.55	20.75±0.97	64.35±1.16	19.53±1.09	63.58±2.24	18.64±1.80	62.96±2.35	18.21±1.19	64.03±1.73	19.29±1.50
		0.10	4.94±0.06	65.14±0.48	19.45±0.90	63.24±0.58	18.69±1.28	63.13±1.58	18.20±1.67	62.77±1.38	17.37±1.64	63.57±1.35	18.43±1.44
		0.25	4.64±0.14	66.86±1.20	21.38±1.71	66.13±1.62	20.42±1.76	66.16±1.01	21.09±1.81	66.10±1.83	20.06±1.42	66.31±1.28	20.74±1.53
		0.50	4.30±0.17	69.05±1.68	23.85±1.98	68.12±1.53	23.70±1.42	66.85±2.32	22.41±2.17	66.78±1.51	22.88±2.45	67.70±1.82	23.21±1.97
		1.00	3.87±0.07	70.09±1.81	23.94±2.44	69.23±2.09	23.76±1.40	68.39±1.89	24.04±1.52	68.59±1.62	23.24±2.03	69.07±1.73	23.75±1.65
		1.50	3.52±0.11	70.57±1.46	34.78±1.22	69.46±1.56	34.50±1.51	69.03±1.31	34.24±1.62	68.39±1.54	32.36±2.13	69.36±1.50	33.97±1.10
		2.00	3.26±0.11	70.51±1.46	45.08±1.44	69.77±1.63	44.70±2.06	69.72±1.91	44.45±1.73	69.02±1.90	43.80±1.58	69.75±1.58	44.51±0.54
		2.50	3.10±0.06	70.40±2.08	44.86±1.17	70.77±1.75	43.85±1.36	69.93±2.32	43.86±1.87	69.99±2.04	44.42±1.51	70.27±1.79	44.25±0.49
		3.00	2.98±0.03	70.96±2.13	44.63±1.55	70.70±1.51	44.33±0.95	70.70±2.12	44.59±1.28	69.57±2.12	43.96±1.63	70.49±1.79	44.38±0.31
	Ascorbic acid	0.10	5.05±0.08	67.16±0.50	21.52±1.15	66.52±1.02	20.55±1.99	65.87±1.76	20.06±1.11	64.30±1.42	18.35±1.82	65.97±1.55	20.12±1.80
		0.25	4.89±0.05	69.51±0.82	34.20±1.08	68.75±0.88	33.53±0.80	67.76±1.17	32.58±1.06	66.91±1.96	31.94±1.89	68.23±1.50	33.06±1.00
		0.50	4.64±0.11	68.80±1.41	43.90±1.15	68.34±0.88	45.08±1.72	68.96±0.87	44.92±1.76	68.79±0.89	43.61±0.69	68.72±0.92	44.38±0.73
		1.00	4.30±0.10	70.38±0.68	45.80±1.88	70.55±1.22	46.08±0.99	69.81±1.19	45.31±1.91	70.35±0.76	45.48±0.53	70.27±0.89	45.67±0.34
		1.50	4.07±0.05	70.27±0.76	45.50±1.46	69.76±1.63	44.94±1.10	69.88±1.36	44.53±2.17	69.96±0.90	45.77±1.07	69.97±1.05	45.19±0.56
		2.00	3.93±0.02	70.70±0.73	45.95±1.19	70.29±1.60	46.05±1.61	70.01±1.15	44.69±2.04	70.12±0.95	45.02±1.20	70.28±1.02	45.43±0.68
		2.50	3.90±0.06	71.12±1.32	45.52±1.72	70.23±1.10	45.39±1.51	69.68±2.13	44.91±1.88	69.66±2.19	43.60±0.56	70.17±1.62	44.85±0.88
		3.00	3.75±0.07	71.52±0.71	46.61±0.93	71.42±0.49	46.12±1.22	70.48±1.46	44.53±2.27	70.54±3.10	43.01±1.23	70.99±1.59	45.07±1.63

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิด และปริมาณต่างๆ ลงในเนื้อกล้วยหอมบด จะสามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้เมื่อเทียบกับ Control โดยการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลปริมาณมาก จะสามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลปริมาณน้อย และการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในช่วง 1.00-3.00% กรดแอสคอร์บิคจะมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดสีน้ำตาลสูงกว่ากรดซิตริก แต่การเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลปริมาณต่ำกว่า 1.00% กรดซิตริกจะมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดสีน้ำตาลสูงกว่ากรดแอสคอร์บิค โดยสังเกตได้จากค่าเฉลี่ยของความสว่าง (L*) ในตารางที่ 4.6 ที่มีค่ามากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิคเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จะทำให้เนื้อกล้วยหอมบดที่ได้มีสีเหลืองมากกว่าการใช้กรดซิตริกเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล โดยสังเกตได้จากค่าเฉลี่ยของสีเหลือง (+b*) ในตารางที่ 4.6 ที่มีค่ามากกว่า ทั้งนี้กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิคสามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ เนื่องจากกรดซิตริกเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม Acidulant ซึ่งจะทำให้ค่า pH ลดลง โดยเมื่อลด pH ให้ต่ำกว่าค่า Optimum pH ของเอนไซม์ PPO จะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลง นอกจากนี้กรดซิตริกยังเป็นสารคีเลทจับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ PPO เมื่อทองแดงถูกดึงออกไปจะทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากทองแดงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เอนไซม์ทำงานได้เป็นปกติ (Iyengar และ McEvily, 1992) สำหรับกรดแอสคอร์บิคจะทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ โดยจะรีดิวซ์ *o*-Quinone กลับมาอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลก่อนที่ *o*-Quinone จะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล ทำให้สามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ (Mayer, Philippon และ Nicolas, 1993; Sapers, 1993) แต่เมื่อกรดแอสคอร์บิคถูกใช้หมดแล้ว สาร *o*-Quinone จะเกิดการสะสมมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารที่ให้สีน้ำตาลได้

ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pizzocaro, Torreggiani และ Gilardi (1993) ที่ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิค และกรดซิตริกต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในแอปเปิ้ล (Golden Delicious) พบว่าการจุ่มชิ้นเนื้อแอปเปิ้ลลงในกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้น 10g/l ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 2g/l นาน 5 นาที จะสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลในเนื้อในแอปเปิ้ลได้ 90-100% นอกจากนี้ Yang และคณะ (2000) ได้ศึกษาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PPO จากกล้วย *Musa sapientum* L. พบว่า กรดแอสคอร์บิค และกรดซิตริกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ดี อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิคปริมาณ 3.00% เนื้อกล้วยหอมบดที่ได้มีสีเหลืองลดลง และมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น

ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิค ที่มีเหลือมากเกินไปในเนื้อกล้วยหอมบด

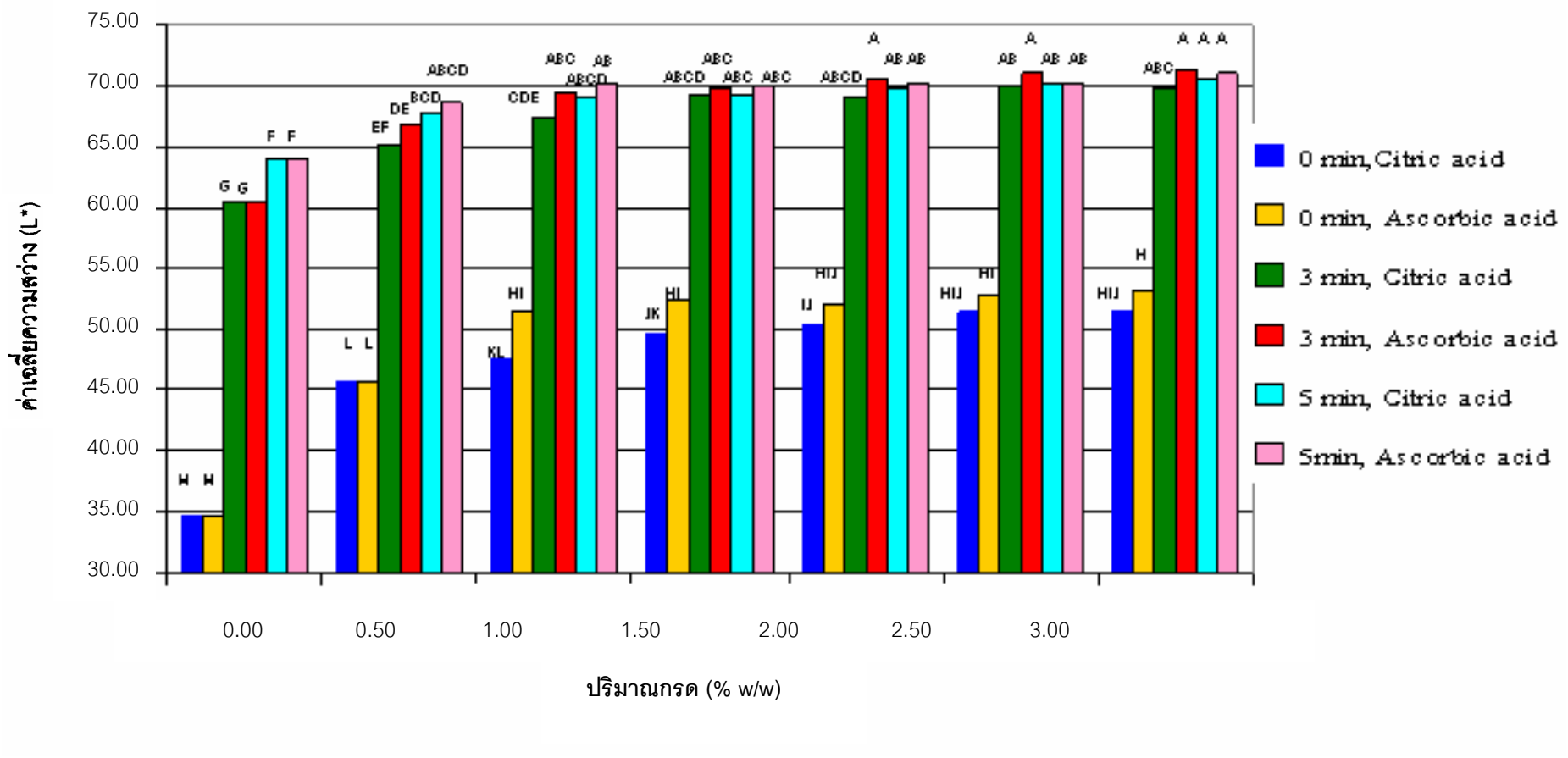
ดังนั้นการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบดโดยการให้ความร้อน หรือการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในช่วงระยะเวลา และปริมาณที่ศึกษาไม่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบดได้ เนื่องจากความสว่าง (L*) และสีเหลือง (+b*) ของเนื้อกล้วยหอมบดจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อทดสอบความผันแปรร่วมระหว่างระยะเวลาที่ให้ความร้อนกับชนิดสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และปริมาณสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ พบว่ามีความแปรผันร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ต่อค่าเฉลี่ยของความสว่าง (L*) และมีความแปรผันร่วมระหว่างระยะเวลาการให้ความร้อนกับปริมาณสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ ต่อค่าเฉลี่ยของสีเหลือง (+b*) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของความสว่าง (L*) และค่าเฉลี่ยของสีเหลือง (+b*) ในตารางที่ 4.6 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ผลดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

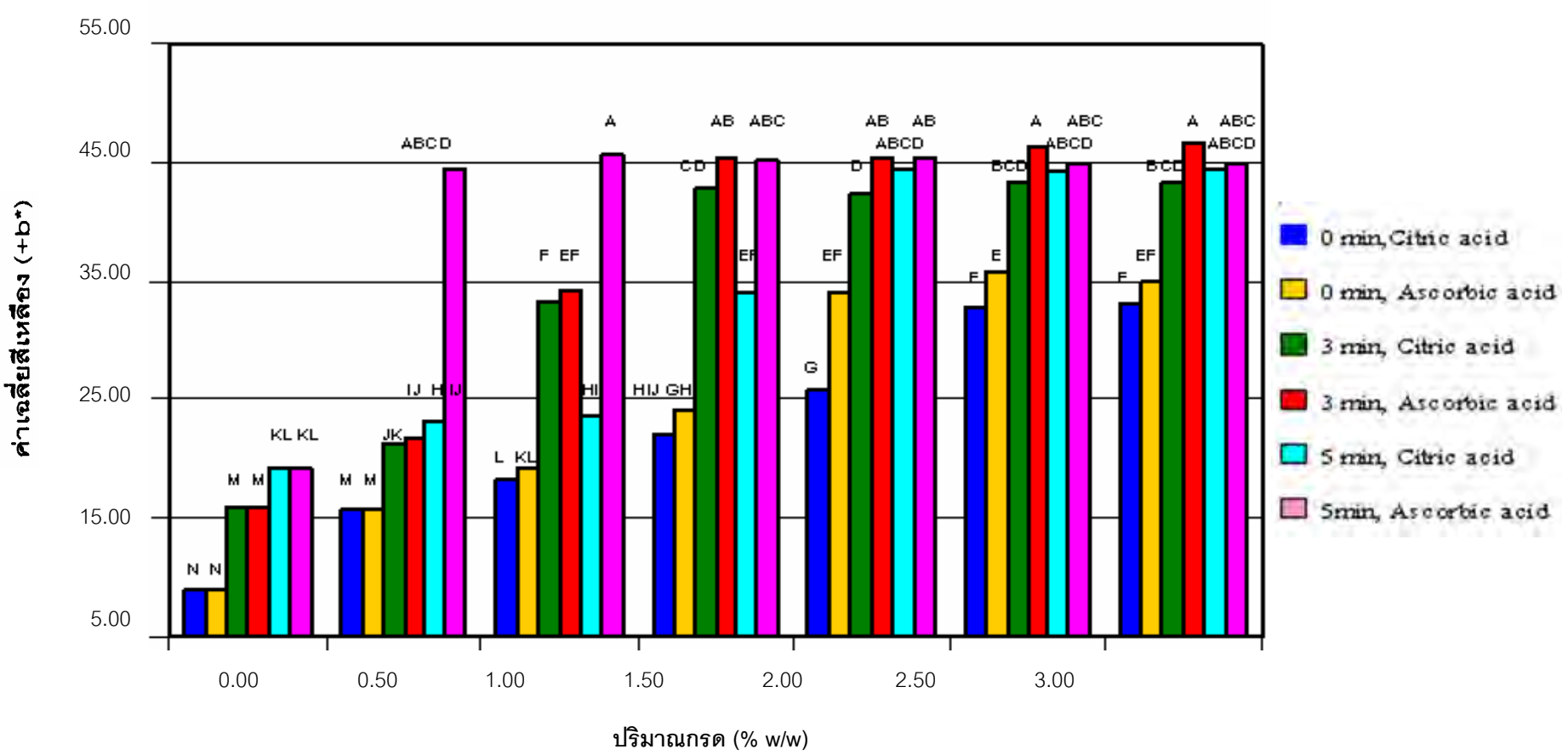
จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนนาน 3 นาทีร่วมกับการเติมกรดซิตริกปริมาณ 1.50% ขึ้นไป การให้ความร้อนนาน 3 นาทีร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิคปริมาณ 1.00% ขึ้นไป การให้ความร้อนนาน 5 นาทีร่วมกับการเติมกรดซิตริกปริมาณ 1.00% ขึ้นไป และการให้ความร้อนนาน 5 นาทีร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิคปริมาณ 0.50% ขึ้นไป จะได้เนื้อกล้วยหอมบดที่มีค่าเฉลี่ยของความสว่าง (L*) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนนาน 3 นาทีร่วมกับการเติมกรดซิตริกปริมาณ 1.50% ขึ้นไป การให้ความร้อนนาน 3 นาทีร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิคปริมาณ 1.50% ขึ้นไป การให้ความร้อนนาน 5 นาทีร่วมกับการเติมกรดซิตริกปริมาณ 2.00% ขึ้นไป และการให้ความร้อนนาน 5 นาทีร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิคปริมาณ 0.50% ขึ้นไป จะได้เนื้อกล้วยหอมบดที่มีค่าเฉลี่ยของสีเหลือง (+b*) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้น การให้ความร้อนนาน 3 นาทีร่วมกับการเติมกรดซิตริกปริมาณ 1.50% ขึ้นไป การให้ความร้อนนาน 3 นาทีร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิคปริมาณ 1.50% ขึ้นไป การให้ความร้อนนาน 5 นาทีร่วมกับการเติมกรดซิตริกปริมาณ 2.00% ขึ้นไป หรือการให้ความร้อนนาน 5 นาทีร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิคปริมาณ 0.50% ขึ้นไป จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบดได้ แต่อย่างไรก็ตามการเติมกรดซิตริก หรือกรดแอสคอร์บิคปริมาณมากจะส่งผลให้เนื้อกล้วยหอมบดที่ได้มีมีรสเปรี้ยว และ pH ต่ำเกินไปจนอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์

ในขั้นตอนต่อไปได้ และอาจต้องมีการเพิ่มขั้นตอนอื่นๆที่อาจส่งผลเสียต่อคุณค่าทางโภชนาการและหน้าที่เฉพาะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ เช่น กลิ่นกล้วยหอม และแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น นอกจากนี้การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลปริมาณมากจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากสารดังกล่าวมีราคาค่อนข้างแพง และได้มีงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การให้ความร้อนในระดับที่ไม่รุนแรง เช่น การนึ่ง หรือการต้มในช่วงเวลาสั้นๆ ช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับสารประกอบแคโรทีนอยด์ได้ (Pokorny, Yanishlieva และ Gordon, 2001; Francisco และ Octavio, 2003)



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดยภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12$\pm$1 °C) นาน 7 วัน แท่งกราฟที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



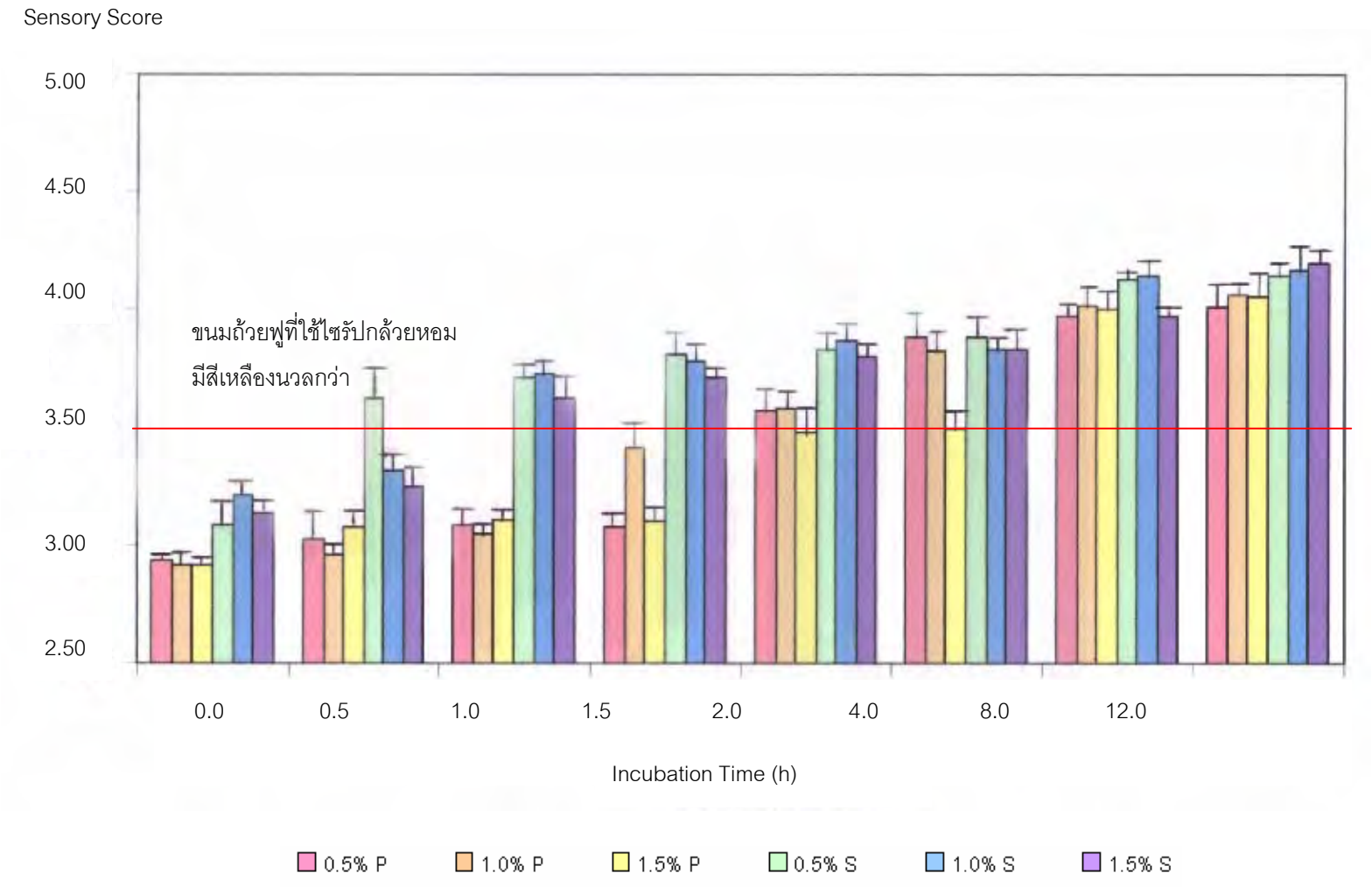
รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยสีเหลือง (+b*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดยภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ12$\pm$1 °C) นาน 7 วัน แท่งกราฟที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นภาวะในการเตรียมกล้วยหอมบดที่เหมาะสม เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ที่เลือกมาใช้สำหรับขั้นตอนการเตรียมเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ให้พร้อมสำหรับเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมในขั้นตอนต่อไป คือ การให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำเดือดจนจุดกึ่งกลางของผลกล้วยมีอุณหภูมิ 85 ˚C นาน 5 นาที และทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว ปอกเปลือก หั่นตามขวางหนา 2-3 เซนติเมตร นำเนื้อกล้วยปริมาณ 300 g ใส่ลงในเครื่องปั่นผสม เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มไล่อากาศที่มีกรดแอสคอร์บิคปริมาณ 0.50% (น้ำหนักกรด/น้ำหนักเนื้อกล้วยหอม) ลงในเครื่องปั่นผสมด้วยอัตราส่วนเนื้อกล้วยหอมต่อน้ำเท่ากับ 3 ต่อ 1 และปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมนาน 1 นาที ทั้งนี้เนื้อกล้วยหอมที่ได้จะมี pH เฉลี่ยเท่ากับ 4.64 โดยค่า pH นี้ยังอยู่ในช่วงที่เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® และ Sigma P4300® สามารถทำงานได้ดี

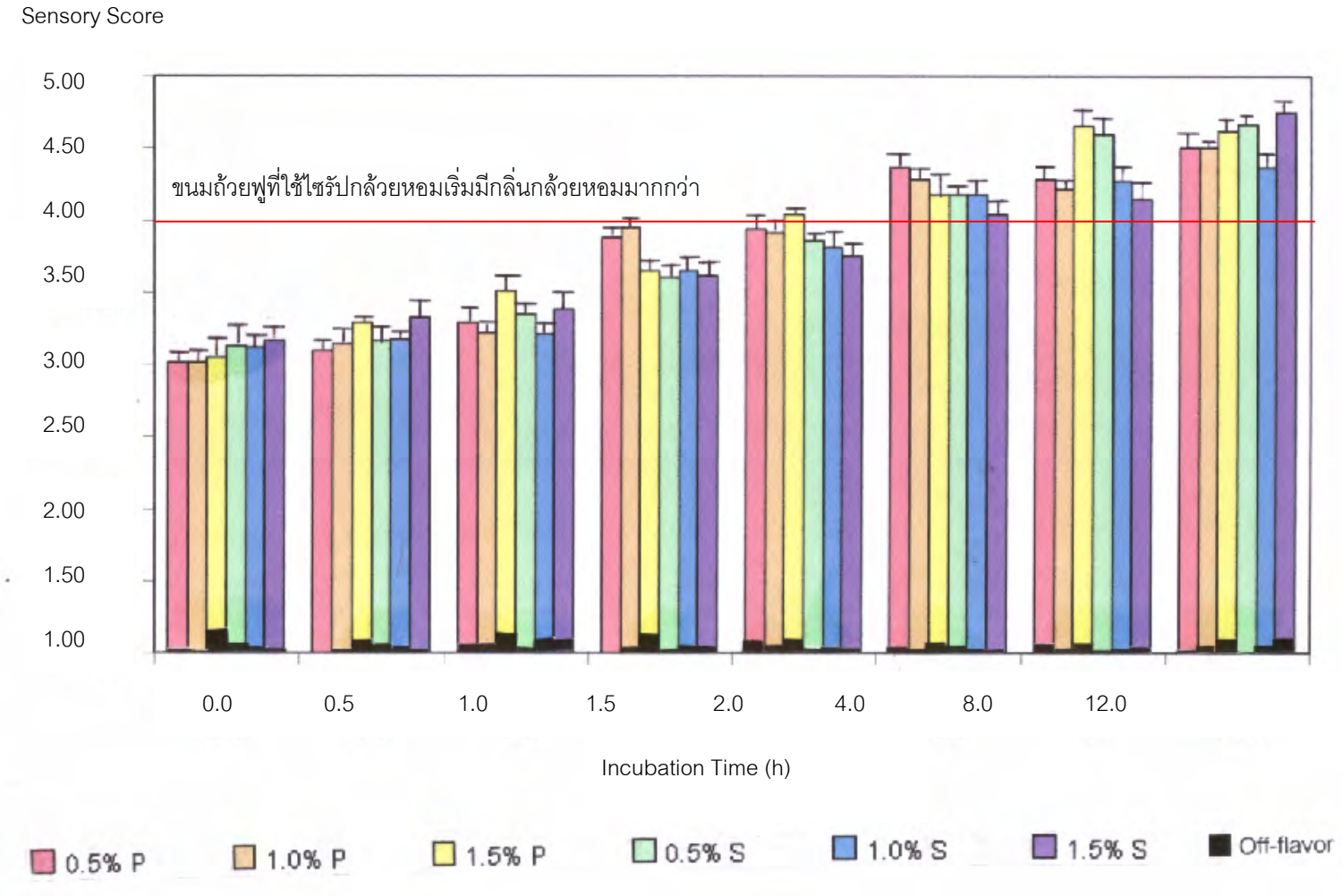
4.4 ประเมินภาวะในการผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะโดยใช้เอนไซม์

การหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์กับคุณภาพทางประสาทสัมผัสและสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอมที่ได้ เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ และหาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ สำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ ทำโดยนำกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 ซึ่งเป็นระยะที่เลือกได้จากข้อ 4.2 มาผ่านขั้นตอนการเตรียมเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ที่ได้จากข้อ 4.3 จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์ และนำตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากภาวะต่างๆ มาตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางเคมีกายภาพ

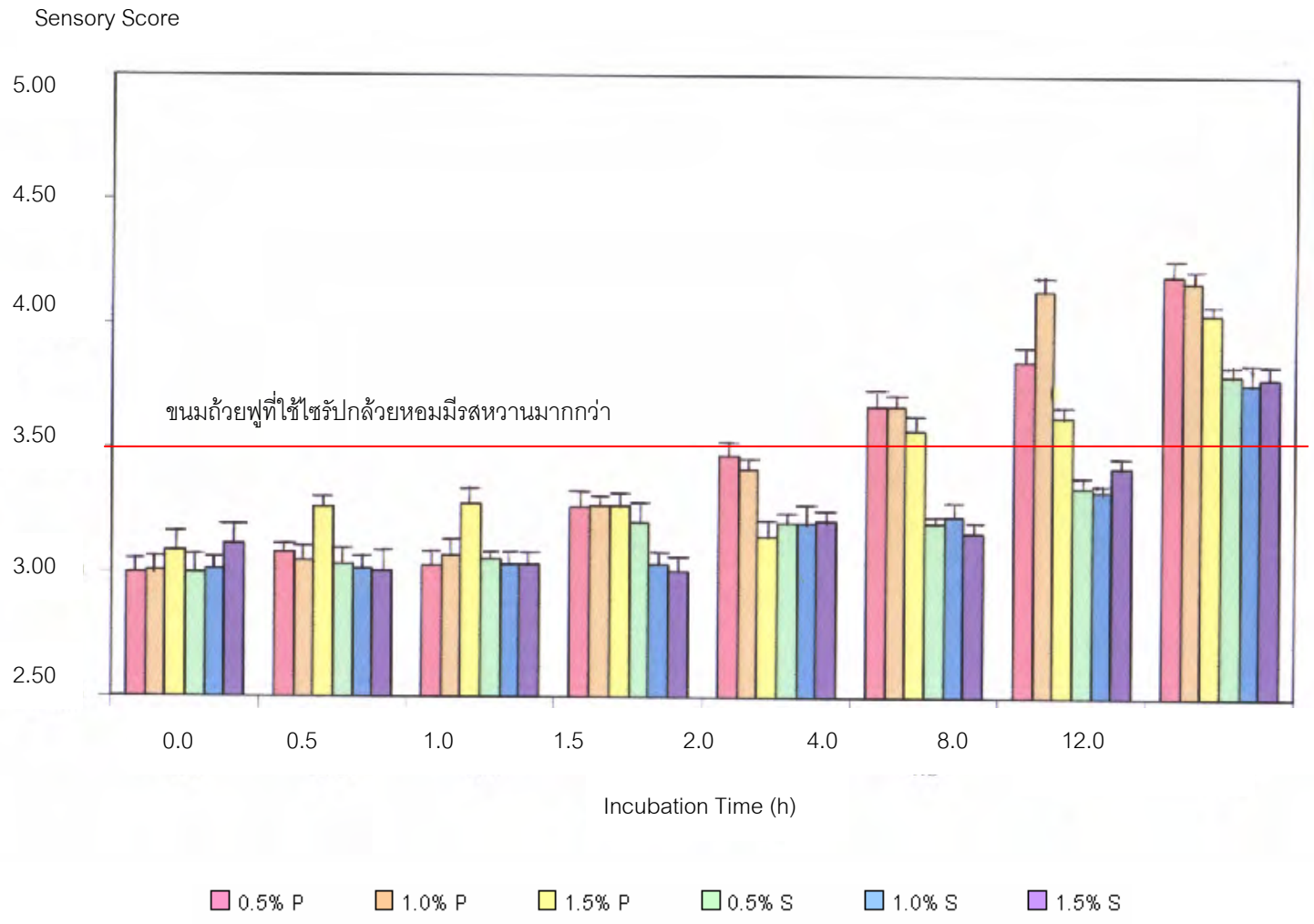
จากการทดลองข้อ 3.2.4.1 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ กับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปด้านสี กลิ่นกล้วยหอม (Banana flavor) รสชาติ และกลิ่นรสแปลกปลอมของไซรัปกล้วยหอมเมื่อนำไปเติมลงในขนมถ้วยฟูปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ แทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ในสูตรต้นแบบที่แสดงในภาคผนวก ง ด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) โดยการให้คะแนนเปรียบเทียบกับขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบดปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ แทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ในสูตรต้นแบบ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปที่ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ แสดงโดยรูปที่ 4.14-4.16 กำหนดให้ตัวอักษร P หมายถึง เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ตัวอักษร S หมายถึง เอนไซม์ Sigma P4300® และตัวเลขเป็นเปอร์เซนต์หน้าตัวอักษรแสดงถึงปริมาณเอนไซม์ที่ใช้



รูปที่ 4.14 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีของขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ



รูปที่ 4.15 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นกล้วยหอม และกลิ่นรสแปลกปลอม (Off-flavor) ของขนมถ้วยฟู ที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ



รูปที่ 4.16 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานของขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.14-4.16 จะเห็นว่าภาวะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมด้วยเอนไซม์ ไม่ว่าจะเป็นชนิดของเอนไซม์ ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาที่ใช้ ล้วนมีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูที่ได้ จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจะเริ่มมีสีเหลืองนวลมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบด (ได้คะแนนมากกว่า 3.5 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 0.5%, 1.0% และ 1.5% นาน 0.5, 1.และ 1 ชั่วโมงตามลำดับ หรือเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 0.5-1.5% นาน 2-4 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้ไม่มีภาวะใดได้ขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมมีสีเหลืองเข้มกว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบด (ได้คะแนนมากกว่า 4.5 คะแนน)

ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Revilla และ Ganzalez-san jose (2003) ที่ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไวน์แดงโดยใช้เอนไซม์ย่อยสลายเพกทินเติมลงในน้ำผลไม้ก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ พบว่าการเติมเอนไซม์จะทำให้ไวน์ที่ได้มีลักษณะปรากฏด้านสีดีขึ้น

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูด้านกลิ่นกล้วยหอม จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจะเริ่มมีกลิ่นกล้วยหอมมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบดเล็กน้อย (ได้คะแนนมากกว่า 4.0 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 1.5% นาน 2 ชั่วโมง และจะได้ขนมถ้วยฟูที่มีกลิ่นกล้วยหอมค่อนข้างชัดเจน (ได้คะแนนมากกว่า 4.5 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 1.5% หรือ เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 0.5% นาน 8 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอมด้านรสชาติ จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่า ขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจะเริ่มมีรสหวานมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบด (ได้คะแนนมากกว่า 3.5 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 0.5-1.0% นาน 4 ชั่วโมง หรือปริมาณ 1.5% นาน 4-8 ชั่วโมง หรือ เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 0.5-1.5% นาน 12 ชั่วโมง และจากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดที่นำมาใช้ไม่ทำให้เกิดกลิ่นรสแปลกปลอมในระดับที่ผู้ทดสอบสามารถรู้สึกได้

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อทดสอบความผันแปรร่วมระหว่างชนิดของเอนไซม์ ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาที่ใช้ พบว่ามีความแปรผันร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอมด้านสี กลิ่นกล้วยหอม และรสหวานของไซรัปกล้วยหอมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® และเอนไซม์ Sigma P4300® จัดอยู่กลุ่มเอนไซม์ที่เร่งการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน โดยสารประกอบเพกทินในเนื้อผลไม้ที่เกาะกับเส้นใยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ และทำให้เกิดการกักเก็บสารให้สี กลิ่นรสของผลไม้ และของเหลวไว้ภายในเนื้อเยื่อ การนำเอนไซม์ดังกล่าวมาใช้ในการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในเนื้อกล้วยหอม จะทำให้โครงสร้างของเพกทินเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกี่ยวข้องกับการตัดสายโซ่หลัก หรือที่โซ่กิ่งของเพกทิน ทำให้เพกทินสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ยึดจับกับผนังเซลล์รอบๆ อย่างหลวมๆ และเนื้อเยื่อกล้วยหอมจะมีความนิ่มเพิ่มมากขึ้น เกิดการปลดปล่อยสารที่ให้สี และกลิ่นรสธรรมชาติของกล้วยหอมออกมา ทำให้ขนมถ้วยฟูที่เติมไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ มีสีเหลืองนวล และมีกลิ่นกล้วยหอมชัดเจนมากขึ้น

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® มีประสิทธิภาพในการทำให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีลักษณะเด่นในด้านกลิ่นกล้วยหอม และรสหวานดีกว่าเอนไซม์ Sigma P4300® ส่วนเอนไซม์ Sigma P4300® มีประสิทธิภาพในการทำให้ให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีลักษณะเด่นในด้านสี โดยทำให้ไซรัปที่ได้มีสีเหลืองนวล ดีกว่าเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L®

จากการทดลองข้อ 3.2.4.2-3.2.4.6 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ กับสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอมที่ได้ในด้าน สี ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) ขนาดอนุภาค การแขวนลอยของอนุภาค และความสามารถในการกรอง ได้ผลดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.22-4.25 กำหนดให้ตัวอักษร P หมายถึงเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ตัวอักษร S หมายถึงเอนไซม์ Sigma P4300® และตัวเลขเป็นเปอร์เซนต์หน้าตัวอักษร แสดงถึงปริมาณเอนไซม์ที่ใช้

จากการทดลองนำไซรัปกล้วยหอมที่ได้ไปวัดค่าสีในระบบ L* a* b* พบว่า ชนิด และปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอม มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว (-a*) และค่าสีเหลือง (+b*) การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® จะทำให้ไซรัปที่ได้มีความสว่าง และมีสีเหลืองลดลง แต่ทำให้สีเขียวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ความสว่างจะลดลงมากขึ้นเมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณสูงขึ้น แต่ค่าสีเหลืองจะมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์จาก 0.5% เป็น 1.5% สำหรับการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 0.5% ถึง 1.5% ในกระบวนการแปรรูป พบว่าไม่ทำให้ไซรัปที่ได้มีความสว่าง และสีเหลืองเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงโดยตารางที่ 4.6

เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ทำให้ไซรัปที่ได้มีความสว่าง และมีสีเหลืองลดลง แต่มีสีเขียวมากขึ้น น่าจะมีสาเหตุมาจากสีของเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ที่จำหน่ายทางการค้าจะอยู่ในรูปของสารละลายที่มีสีน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้เอนไซม์ Sigma P4300® ที่จำหน่าย

ทางการค้าจะอยู่ในรูปผงสีขาว และเมื่อนำมาละลายน้ำในปริมาณที่ใช้ในงานวิจัยจะได้สารละลายสีน้ำตาลอ่อนๆ ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อความสว่าง และสีของไซรัปกล้วยหอมที่ได้

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้นี้กับผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองที่ลดลงเนื่องจากการใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ไม่ส่งผลให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีสีคล้ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับสีของเนื้อกล้วยหอมบด

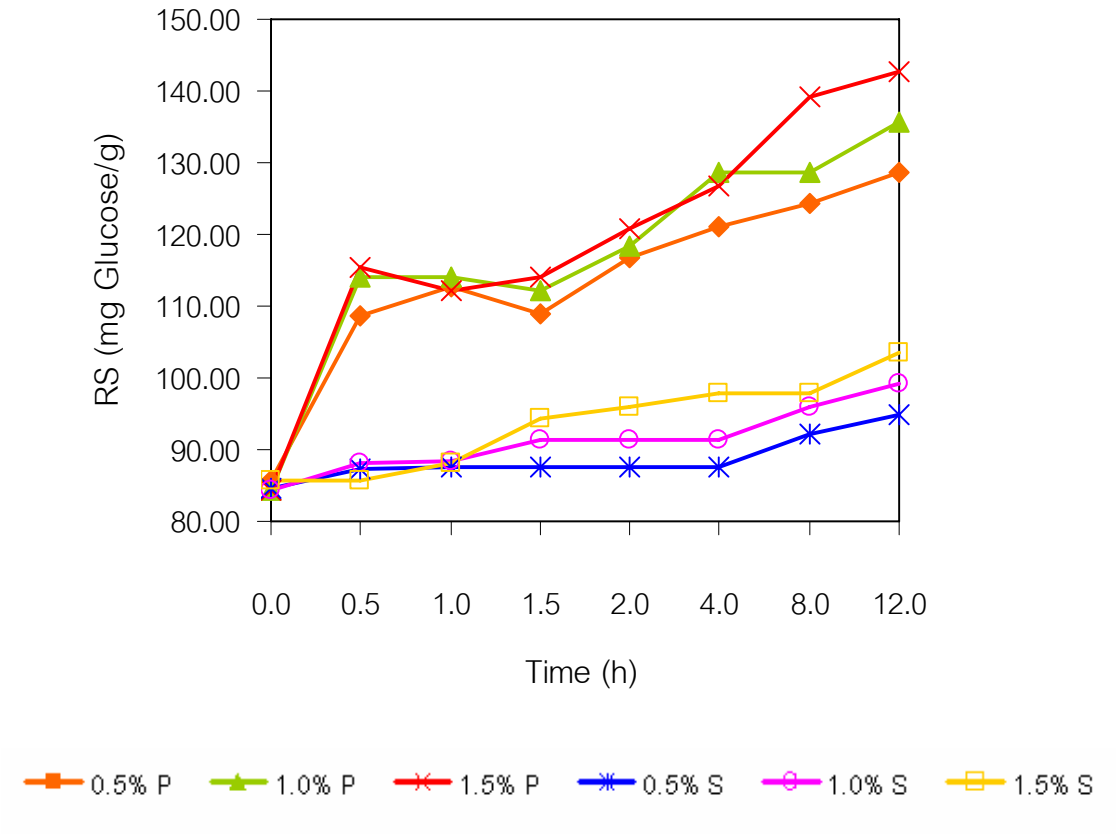
ตารางที่ 4.7 สีของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

เอนไซม์	ปริมาณ (%)	ค่าสี		
		L*	-a*	+b*
เนื้อกล้วยหอมบด		**68.06^{a} ±0.07**	**2.65^{bc} ±0.03**	**42.73^{a} ±0.19**
Pectinex Ultra SP-L®	0.50	64.10^{b} ±0.23	2.65^{bc} ±0.13	38.26^{b} ±0.71
	1.00	63.81^{bc} ±0.52	2.83^{a} ±0.06	37.41^{b} ±1.65
	1.50	63.39^{c} ±0.40	2.82^{a} ±0.08	37.64^{b} ±0.18
Sigma P4300®	0.50	68.11^{a} ±0.06	2.66^{abc} ±0.12	41.24^{a} ±0.35
	1.00	68.03^{a} ±0.33	2.60^{c} ±0.04	40.82^{a} ±0.32
	1.50	68.03^{a} ±0.19	2.59^{c} ±0.02	41.05^{a} ±0.25

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองข้อ 3.2.4.3 เมื่อติดตามการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดปริมาณต่างๆ นาน 0-12 ชั่วโมง จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปกล้วยหอม พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณมากขึ้นจะทำให้มีอัตราการเพิ่มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นด้วย โดยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® จะทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ในขณะที่เอนไซม์ Sigma P4300® จะทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.17

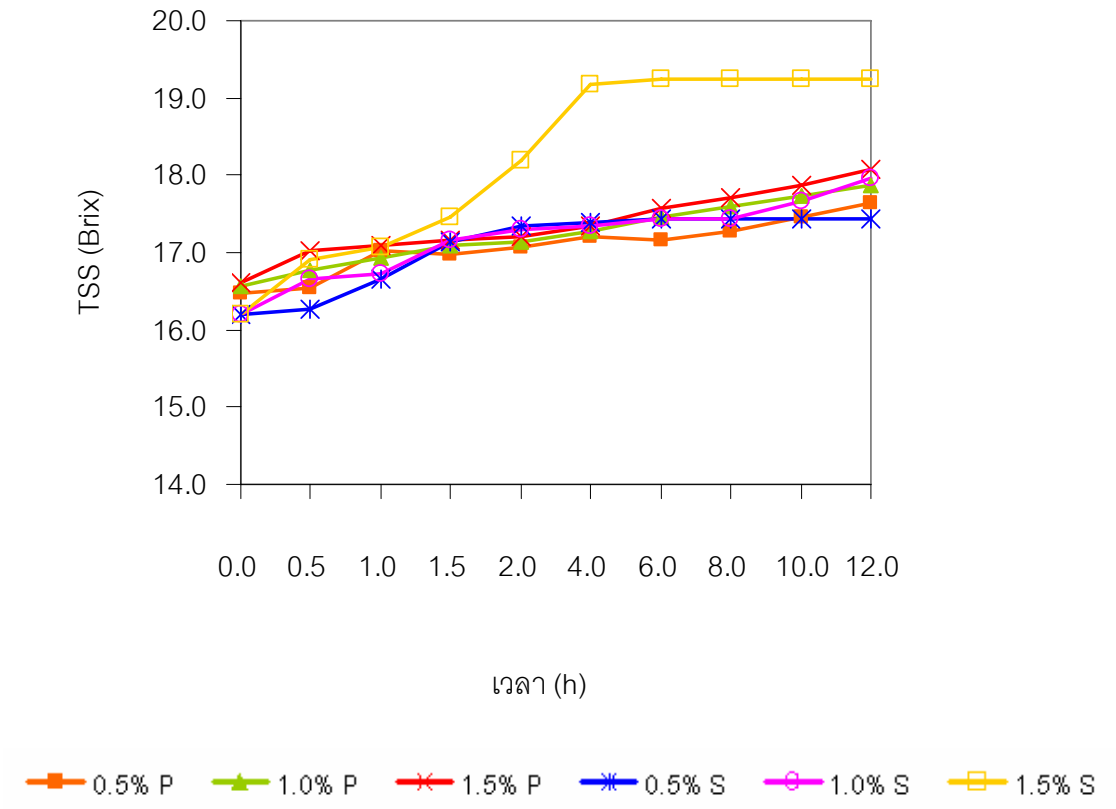


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปกล้วยหอม
ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ โดยเอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส ตามลำดับ ทั้งนี้เอนไซม์ทางการค้าที่ใช้ มีความสามารถในการย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกได้แต่กต่างกันทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน โดยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด คือมีพอลิกาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรติเอส และแอมิเลสซึ่งสามารถช่วยเสริมการย่อยสลายโมเลกุลต่างๆที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ได้ ทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® ที่ประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนสเพียงชนิดเดียว

จากการติดตามการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิด ในปริมาณต่างๆ จากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในข้อ 3.2.4.4 พบว่า เมื่อระยะเวลาใน

การเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะมีค่าคงที่ และเมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณมากขึ้นจะทำให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีอัตราการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงขึ้น โดยเอนไซม์ Sigma P4300® จะให้ผลที่ชัดเจนกว่าเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® และการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 1.5% ทำปฏิกิริยานาน 4 ชั่วโมง จะให้ไซรัปที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 19.2 °Brix ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากผลที่ได้ จะพบว่าเอนไซม์ทางการค้าที่เลือกใช้มีบทบาทในการช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดได้ โดยเป็นผลมาจากเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด จัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบเพกทิน และได้สารประกอบเพกทินที่สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น เมื่อโมเลกุลของ

สารประกอบเพกทินเกิดการย่อยสลาย จะเกิดการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในเซลล์ของผลไม้ออกมา ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Sreenath, Sudarshanakrishna และ Santhanam (1994) ซึ่งได้ศึกษาการใช้เอนไซม์เพคติเนส และเซลลูเลส ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำสับปะรด และพบว่าการใช้เอนไซม์จะทำให้น้ำสับปะรดที่ได้มีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้เพิ่มมากขึ้น

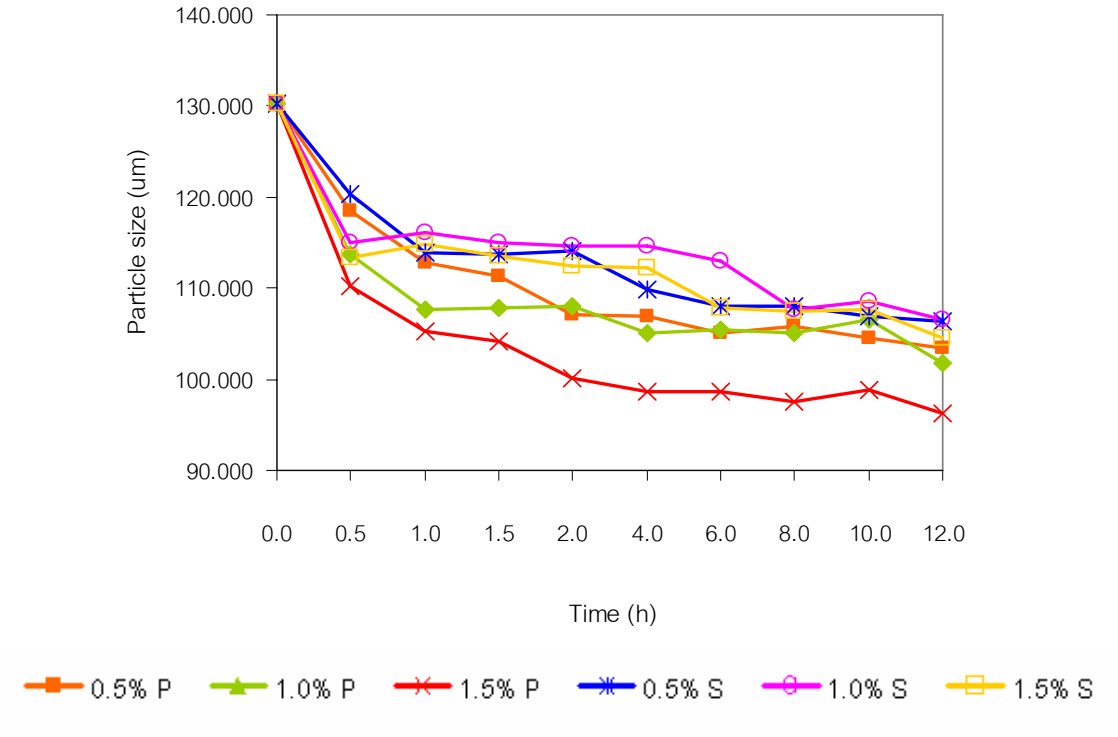
อย่างไรก็ตามจากผลที่ได้จะเห็นว่าการใช้เอนไซม์ทางการค้าดังกล่าว จะช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดได้เพียงเล็กน้อย โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ของเนื้อกล้วยหอมก็จะถูกปลดปล่อยออกมาด้วย และเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® จะทำให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยกว่าการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากชนิด และปริมาณของเอนไซม์อื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบในเอนไซม์ทางการค้าแต่ละชนิด ก่อให้เกิดลักษณะการย่อยสลายสารประกอบเพกทินที่แตกต่างกัน และส่งผลให้น้ำ และของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ของผลไม้ถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่แตกต่างกันได้ การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ในกระบวนการแปรรูป จะทำให้เนื้อกล้วยหอมบดมีความข้นหนืดลดลงเร็วกว่าการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® อย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่มากกว่า (มีข้อมูลจากการสังเกตแต่ไม่แสดงในรายงานนี้)

จากการทดลองข้อ 3.2.4.5 เมื่อติดตามการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดปริมาณต่างๆ นาน 0-12 ชั่วโมง จากขนาดอนุภาคของไซรัปกล้วยหอม พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ และเมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณมากขึ้น จะทำให้ขนาดอนุภาคมีอัตราการลดลงเร็วขึ้น ดังรูปที่ 4.19

เอนไซม์ทางการค้าที่ใช้ มีบทบาทในการช่วยลดขนาดอนุภาคได้ เนื่องจากเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด จัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบเพกทิน ได้พอลิเมอร์ของเพกทินที่สั้นลง ส่งผลให้ขนาดอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กลง โดยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® จะช่วยลดขนาดอนุภาคได้ดีกว่าเอนไซม์ Sigma P4300® เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถช่วยเสริมการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสได้ ในขณะที่ Sigma P4300® จะประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนสเพียงชนิดเดียว

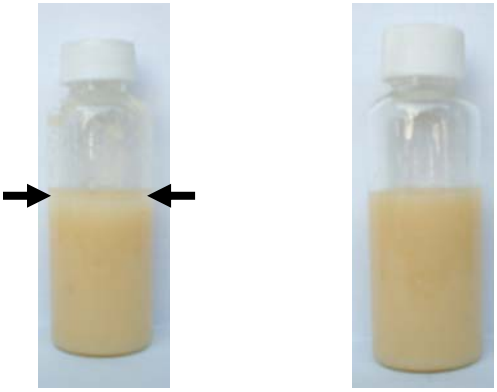
ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส จะช่วยเสริมการทำงานของเพคติเนสได้ (Kilara, 1982; Sreenath และคณะ,

1984; Massiot และคณะ, 1989; อรุณี เพียรทวีรัชต์ และ ปราณี อ่านเปรื่อง, 2536; Sreenath และ Santhanan, 1992; Sreenath, Sudarshanakrishna และ Santhanam, 1994)



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของไซรัปกล้วยหอม
ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากการทดลองข้อ 3.2.4.6 เพื่อติดตามเสถียรภาพด้านการแขวนลอยของอนุภาค ของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากภาวะต่างๆ โดยสังเกตการแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอม (รูปที่ 4.20) ผลที่ได้แสดงโดยตารางที่ 4.8 ซึ่งพบว่าการใช้เอนไซม์ย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมบด ณ ภาวะที่เหมาะสมสามารถเพิ่มเสถียรภาพด้านการแขวนลอยของอนุภาคให้ไซรัปกล้วยหอมได้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.20 การแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอม
(ก) ไซรัปกล้วยหอมที่เกิดการแยกชั้นน้ำ
(ข) ไซรัปกล้วยหอมที่ไม่เกิดการแยกชั้นน้ำ

จากการทดลองพบว่า ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จะมีเสถียรภาพ หรือไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำ เมื่อใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 1.5 % นาน 2-12 ชั่วโมง และจากข้อมูลที่แสดงโดยรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากภาวะดังกล่าว จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96.304–98.892 μm จึงอาจกล่าวได้ว่าไซรัปกล้วยหอมที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96.304 ถึง 98.892 μm จะมีเสถียรภาพ ไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.8 เสถียรภาพด้านการแขวนลอยของอนุภาค ของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

ระยะเวลา (h)	การแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอม					
	Pectinex Ultra SP-L®			Sigma P4300®		
	0.50%	1.00%	1.50%	0.50%	1.00%	1.50%
0	+++	+++	+++	+++	+++	+++
0.5	++	++	++	++	++	++
1	++	++	++	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+
4	+	+	_	+	+	+
8	+	+	_	+	+	+
10	+	+	_	+	+	+
12	+	+	_	+	+	+

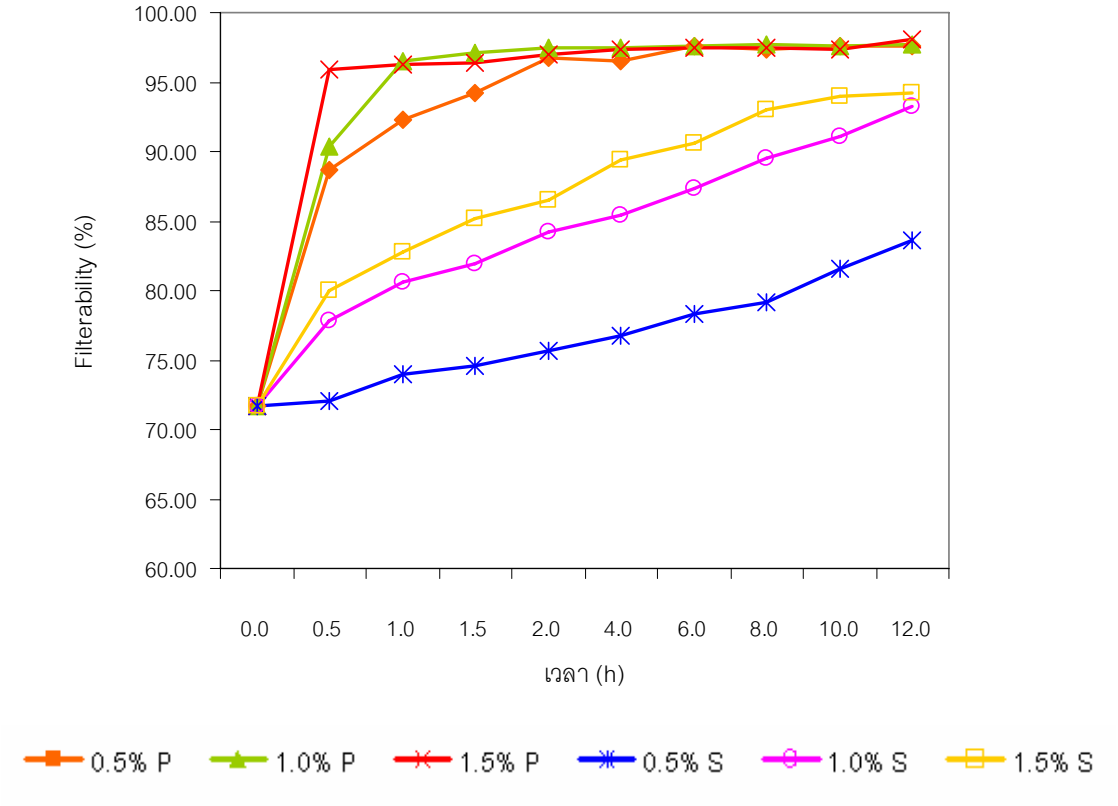
หมายเหตุ: _ ไม่เกิดการแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอม

\+ เกิดการแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอมน้อยกว่า 5%

++ เกิดการแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอมระหว่าง 5-10%

+++ เกิดการแยกชั้นน้ำออกจากไซรัปกล้วยหอมมากกว่า 10%

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอมที่ได้ในด้านค่าการกรองได้ โดยการนำไซรัปกล้วยหอมที่ได้ไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman® No 4 (20μm-25μm size particle retention) และวัดปริมาตรของเหลวที่สามารถผ่านกระดาษกรองได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ผลที่ได้แสดงโดยรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าการกรองได้ของไซรัปกล้วยหอม
ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายมากขึ้น ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จะมีค่าการกรองได้เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งค่าการกรองได้จะมีค่าคงที่ และจากการทดลองพบว่า เมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณมากขึ้นจะทำให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีอัตราการเพิ่มของค่าการกรองได้สูงขึ้น โดยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® จะให้ผลที่ชัดเจนกว่าเอนไซม์ Sigma P4300® การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5% จะมีค่าการกรองได้คงที่หลังจากบ่มนาน 6, 4 และ 3 ชั่วโมง และมีค่าเฉลี่ยของค่าการกรองได้เป็น 97.53, 97.61 และ 97.65% ตามลำดับ ส่วนการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 0.5 และ 1.0% จะมีค่าการกรองได้เพิ่มขึ้นอย่างช้า เนื่องจากเกิดปัญหาการอุดตันเยื่อกรอง และเอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 1.5% จะมีค่าการกรองได้คงที่หลังจากบ่มนาน 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.21% ดังนั้นการใช้เอนไซม์ย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมบดจะทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของกระดาษกรอง ทำให้สามารถผ่านรูพรุนของกระดาณกรองได้ โดยการใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L®

ส่งผลให้มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของกระดาษกรองปริมาณมากกว่าการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® ทำให้มีค่าการกรองได้สูงกว่า และการใช้เอนไซม์ปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของกระดาษกรองเพิ่มขึ้นด้วย ผลที่ได้มีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากข้อ 3.2.4.4 โดยพบว่าค่าการกรองได้ของไซรัปกล้วยหอมที่ได้ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคของไซรัปกล้วยหอมมีขนาดเล็กลง

ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alvarez และคณะ (1998) ที่ศึกษาผลของการย่อยสลายเพกทินต่อกระบวนการกรองน้ำแอปเปิลแบบอัลตราฟิวเตรชัน พบว่าการย่อยสลายเพกตินในน้ำแอปเปิลด้วยเอนไซม์จะทำให้ได้น้ำแอปเปิลที่มีอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองสูงมากขึ้น และลดการเกิดปัญหาการอุดตันเยื่อกรองเนื่องจากโมเลกุลเพกทิน อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee และคณะ (2006) ที่ใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ในการหาภาวะที่เหมาะสมในการทำน้ำกล้วยหอมให้ใสโดยใช้เอนไซม์ พบว่าภาวะที่แตกต่างกัน (ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิในการย่อย และระยะเวลาในการย่อย) ในการใช้เอนไซม์จะมีผลต่อค่าความสามารถในการกรองของน้ำกล้วยที่ได้

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์กับคุณภาพทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอมที่ได้ ทำให้ทราบว่าภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ สำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอม คือ การนำเนื้อกล้วยหอมบดนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 1.5% ที่อุณหภูมิ $32\pm2^{\circ}C$ pH 4.64 ± 0.11 นาน 3 ชั่วโมง ที่ภาวะนี้จะได้ไซรัปกล้วยหอมที่มีสีเหลืองนวล มีกลิ่นกล้วยหอมชัดเจนมากขึ้น และมีเสถียรภาพสูงไม่เกิดการแยกของชั้นน้ำออกมาในระหว่างการเก็บรักษา โดยไซรัปที่ได้จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 125 mg Glucose/g มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 17.3 °Brix และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 98 μm

4.5 ลักษณะเฉพาะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้

จากการทดลองข้อ 3.2.5.1-3.2.5.2 เมื่อนำไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากภาวะการแปรรูปที่เหมาะสม ไปวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ (Free radical-scavenging activity) ในตัวทำละลายเมทานอล ที่อุณหภูมิห้อง ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

จากตารางที่ 4.9 จะพบว่าปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการแปรรูปไซรัปกล้วยหอม โดยมีสาเหตุมาจากในขั้นตอนการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด

เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จะทำการให้ความร้อนผลกล้วยหอมด้วยไอน้ำเดือด ก่อนนำผลกล้วยหอมนั้นมาปอกเปลือก ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ไปไอน้ำ และในระหว่างการแปรรูปขั้นตอนอื่นๆจะไม่มีการกรอง หรือการกำจัดเอากากออก ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงสามารถรักษาหน้าที่เฉพาะของกล้วยหอมในด้านการเป็นแหล่งสำคัญของเส้นใยอาหารไว้ได้ในไซรัปกล้วยหอม และเมื่อพิจารณาแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมอย่างมาก โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.95 เป็น 48.49 μg DPPH/μg FM เมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH หรือเพิ่มขึ้นจาก 25.69 เป็น 421.42 mM TE/g FM เมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ทั้งนี้ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น มีสาเหตุมาจากการใช้กรดแอสคอบิกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในขั้นตอนการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด เนื่องจากกรดแอสคอบิกมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูล และช่วยลดการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆที่พบในเนื้อกล้วยหอมในระหว่างการแปรรูปได้ (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549) ทำให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูง

ตารางที่ 4.9 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระของไซรัปกล้วยหอม

Sample	TDF (% dry basis)	Free radical-scavenging activity	
		DPPH assay ($1/EC_{50}$, μg DPPH/μg FM)	ABTS assay (mM TE/g FM)
Banana flesh	21.72^{ns} ±0.49	2.95^{b} ±0.01	25.69^{b} ±0.03
Banana flesh after blanching	21.69^{ns} ±0.20	47.89^{a} ±0.65	419.11^{a} ±0.53
Banana syrup	21.75^{ns} ±0.80	48.49^{a} ±0.80	421.42^{a} ±0.75

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการทดลองข้อ 3.2.5.3 เมื่อนำไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากภาวะการแปรรูปที่เหมาะสม ไปวิเคราะห์ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก (Prebiotic activity score) โดยการเปรียบเทียบความสามารถของไซรัปกล้วยหอม กับสารที่ไม่ได้เป็นสารพรีไบโอติก เช่น กลูโคส ในการส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ 2 ชนิด คือ *Lactobacillus acidophilus* LA5 และ *Bifidobacterium lactis* BB-12 และกับ *Escherichia coli* ATCC 29922 ซึ่งไม่ใช่จุลินทรีย์สุขภาพ แต่พบได้ในระบบทางเดินอาหาร ผลที่ได้แสดงโดยตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.27

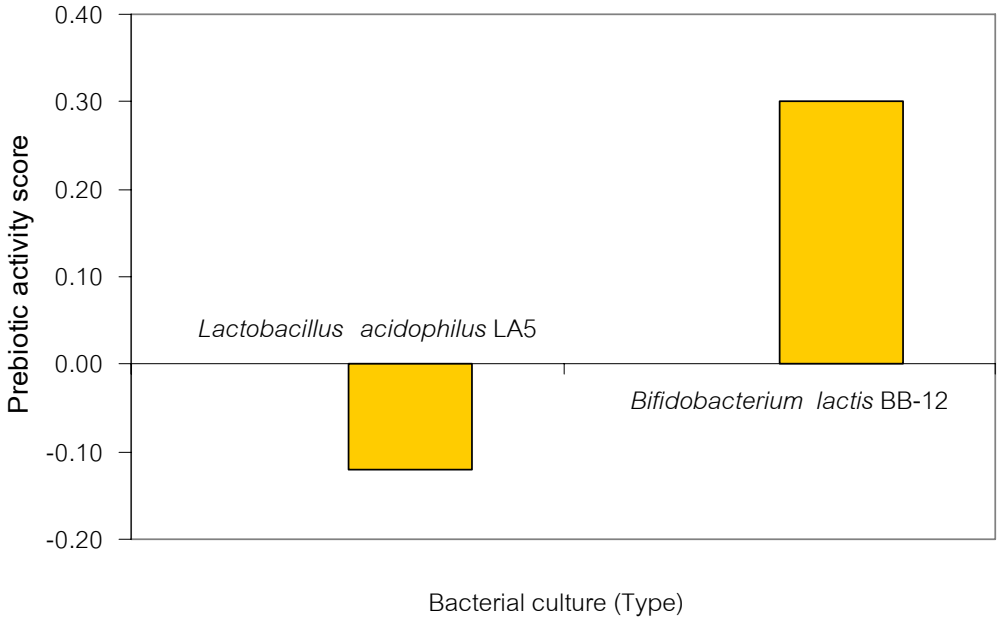
ตารางที่ 4.10 จำนวนประชากรของเซลล์แบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นใน 24 ชั่วโมง เมื่อเลี้ยงในอาหาร MRS ที่มีกลูโคส หรือมีเนื้อกล้วยหอมสุกระยะต่างๆเป็นองค์ประกอบ

Bacterial culture	Cell population [$\log_{10}$(cfu/ml)]		
	Glucose	Banana flesh	Banana syrup
Lactobacillus acidophilus LA5	1.95^{e} ±0.07	2.51^{c} ±0.07	2.52^{c} ±0.03
Bifidobacterium lactis BB-12	2.10^{d} ±0.04	3.58^{a} ±0.07	3.61^{a} ±0.05
Escherichia coli ATCC 29922	2.00^{e} ±0.03	2.81^{b} ±0.02	2.83^{b} ±0.05

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

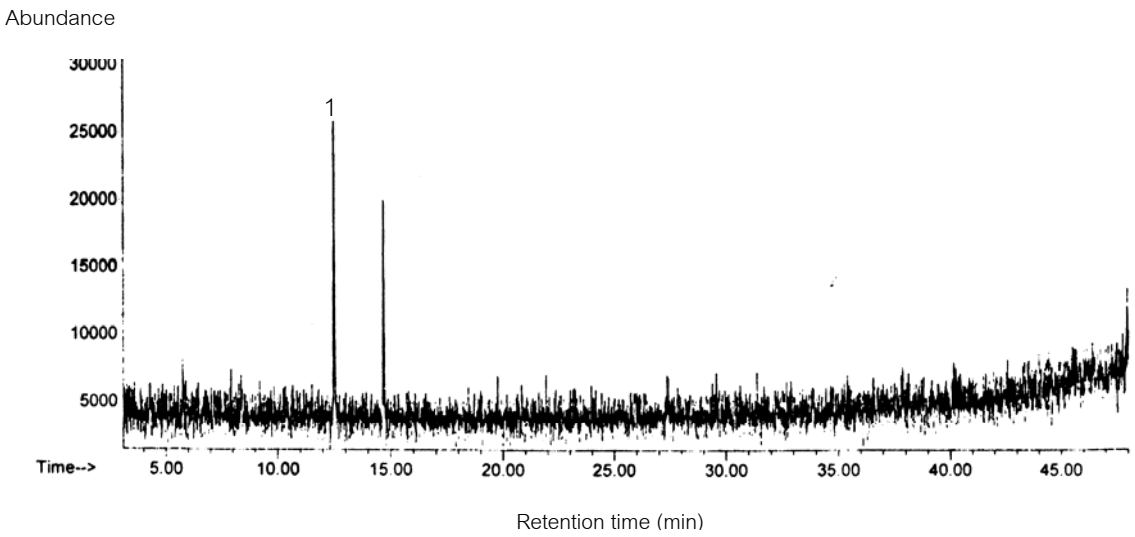
ค่าตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าจำนวนประชากรของเซลล์แบคทีเรียในอาหารที่มีไซรัปกล้วยหอมเป็นองค์ประกอบ จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าจำนวนประชากรของเซลล์แบคทีเรียในอาหารที่มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยอาหารที่มีไซรัปกล้วยหอมเป็นองค์ประกอบจะส่งเสริมการเจริญของ *Bifidobacterium lactis* BB-12 ได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกในไซรัปกล้วยหอม ซึ่งแสดงโดยรูปที่ 4.22 กับค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 ซึ่งแสดงโดยรูปที่ 4.1 จะพบว่า มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อใช้ *Lactobacillus acidophilus* LA5 เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ แอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกจะมีค่าลดลงจาก -0.11 ไปเป็น -0.12 แต่เมื่อใช้ *Bifidobacterium lactis* BB-12 เป็นจุลินทรีย์สุขภาพ แอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.29 ไปเป็น 0.30



รูปที่ 4.22 แอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของไซรัปกล้วยหอม

จากการทดลองข้อ 3.2.5.4 เพื่อตรวจหาชนิดสารระเหยได้ที่พบในไซรัปกล้วยหอม ผลที่ได้แสดงโดยรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 Chromatogram ของสารระเหยได้จากไซรัปกล้วยหอม
วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS

จากการตรวจสอบหาชนิดสารระเหยได้ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS พบว่าไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีสารระเหยได้ 2 ชนิด คือ 3-Methylbutyl ester (Isoamyl butyrate) (Peak No1) และ 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester (Peak No2) โดยสารทั้ง 2 ชนิดเป็นสารในกลุ่มเอสเทอร์ที่มีความสำคัญต่อกลิ่นรสของผลไม้ โดยเฉพาะสาร 3-Methylbutyl ester เป็นสารที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอม โดยเป็นสารที่ให้กลิ่นเหมือนกลิ่นกล้วย (banana-like) กลิ่นกล้วยแบบผลไม้ (fruity) และแบบดอกไม้ (floral) (Tressl and Jennings, 1972; P´erez และคณะ, 1997 and Shiota, 1993) และเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง (Salmon และคณะ, 1996)

เมื่อเปรียบเทียบ Chromatogram ของสารที่สามารถระเหยได้จากไซรัปกล้วยหอม ซึ่งแสดงโดยรูปที่ 4.23 กับ Chromatogram ของสารที่สามารถระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 ซึ่งแสดงโดยรูปที่ 4.3 จะพบว่า มีสารที่สามารถระเหยได้หลายชนิดหายไปในระหว่างกระบวนการแปรรูป แต่อย่างไรก็ตามสารที่สามารถระเหยได้ที่เป็นสารที่ให้กลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอม เช่น 3-Methylbutyl ester (Isoamyl butyrate) และ 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester ยังสามารถพบได้ในไซรัปกล้วยหอม และเมื่อเปรียบเทียบความสูง Peak ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของสารดังกล่าว จะพบว่า ความสูง Peak ของสารดังกล่าวในไซรัปกล้วยหอมที่แสดงโดยรูปที่ 4.23 มีค่ามากกว่าความสูง Peak ของสารดังกล่าวในเนื้อกล้วยหอมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ที่แสดงโดยรูปที่ 4.3 มาก ทั้งนี้ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่พบว่า การใช้เอนไซม์ในกระบวนการแปรรูปไซรัปกล้วยหอม จะทำให้ได้ไซรัปกล้วยหอมที่มีกลิ่นรสกล้วยหอมชัดเจนมากขึ้น

จากผลทางด้านลักษณะเฉพาะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ สามารถจัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบตามธรรมชาติต่างๆ ที่ผ่านการศึกษาวิจัยแล้วพบว่า เมื่อบริโภคอาหารที่มีองค์ประกอบเหล่านั้นแล้วจะส่งผลดีต่อร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะในด้านสุขภาพ เช่น เส้นใยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ และสารพรีไบโอติก และจากการทดลองพบว่าไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีใยอาหารอยู่ 21.75% โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าแอกทิวิตีรวมในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 48.49 µg DPPH/µg FM หรือเท่ากับ 421.42 mM TE/g FM และมีค่าแอกทิวิตีรวมในการเป็นสารพรีไบโอติกเท่ากับ -0.12 โดย *Lactobacillus acidophilus* LA5 หรือเท่ากับ 0.30 โดย *Bifidobacterium Lactis* BB-12

4.6 การใช้ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากการทดลองใช้ไซรัปกล้วยหอมในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู เพื่อเป็นสารแต่งกลิ่นรสกล้วยหอมที่ได้จากธรรมชาติทดแทนการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นสังเคราะห์ และเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงหน้าที่ และคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู โดยแปรปริมาณการใช้ไซรัปกล้วยหอมในสูตรเป็น 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ และนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามข้อ 3.2.5 ผลที่ได้แสดงโดยตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของขนมถ้วยฟูสูตรต้นแบบ และสูตรที่มีการใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณต่างๆ

Sensory attributes	Model*	% of Banana syrup			
		5	10	15	20
Color	$1.43^{c}\pm0.82$	$1.68^{bc}\pm0.78$	$2.02^{b}\pm0.84$	$3.16^{a}\pm1.00$	$3.50^{a}\pm1.07$
Banana flavor	$0.92^{c}\pm0.71$	$1.18^{c}\pm0.87$	$1.20^{c}\pm0.76$	$3.11^{b}\pm0.94$	$3.64^{a}\pm1.06$
Off-flavor	$0.46^{a}+0.52$	$0.25^{b}+0.32$	$0.18^{b}+0.29$	$0.24^{b}+0.32$	$0.24^{b}+0.35$
Tightness	$1.78^{b}\pm1.00$	$1.72^{b}\pm0.95$	$1.44^{b}\pm1.10$	$3.37^{a}\pm0.81$	$3.72^{a}\pm0.87$
Juiciness	$1.38^{c}\pm0.83$	$1.63^{c}\pm0.91$	$1.29^{c}\pm0.98$	$3.26^{b}\pm0.74$	$3.74^{a}\pm0.69$
Global acceptability	$1.38^{c}\pm0.89$	$1.57^{c}\pm0.87$	$1.46^{c}\pm1.00$	$3.30^{b}\pm0.90$	$3.77^{a}\pm0.70$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย$\pm$ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

* คือ สูตรของขนมถ้วยฟูที่ใช้วัตถุแต่งกลิ่นรสกล้วยหอมสังเคราะห์ (วินเนอร์®) ปริมาณ 0.05% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (สูตรต้นแบบ)

จากการทดลองพบว่าการใช้ไซรัปกล้วยหอมในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู มีผลต่อคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูที่ได้ การใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณตั้งแต่ 5% เป็นต้นไป จะทำให้ขนมถ้วยฟูมีคะแนนด้านกลิ่นรสแปลกปลอมแตกต่างจากคะแนนของขนมถ้วยฟูสูตรต้นแบบ โดยทำให้มีกลิ่นรสแปลกปลอมจากยีสต์ลดลง การใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณตั้งแต่ 10% เป็นต้นไป จะทำให้ขนมถ้วยฟูมีคะแนนด้านสีแตกต่างจากคะแนนของขนมถ้วยฟูสูตรต้นแบบ และ

การใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณตั้งแต่ 15% เป็นต้นไป จะทำให้ขนมถ้วยฟูมีคะแนนด้านกลิ่นรสกล้วยหอม ความแน่นเนื้อ และความฉ่ำน้ำ แตกต่างจากคะแนนของขนมถ้วยฟูสูตรต้นแบบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณเพิ่มขึ้น ขนมถ้วยฟูจะมีสีเหลืองนวล มีกลิ่นรสกล้วยหอม มีความแน่นเนื้อ และมีความฉ่ำน้ำมากขึ้น มีกลิ่นรสแปลกปลอมจากยีสต์ลดลง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ไซรัปกล้วยหอมในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู นอกจากจะทำให้ขนมถ้วยฟูที่ได้มีกลิ่นรสกล้วยหอมชัดเจนมากกว่าการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นสังเคราะห์ในสูตรต้นแบบแล้ว ยังทำให้ขนมถ้วยฟูมีกลิ่นยีสต์ลดลง มีความแน่นเนื้อ และมีความฉ่ำน้ำเพิ่มขึ้นด้วย โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบอื่นๆในไซรัปกล้วยหอม เช่น แป้ง น้ำตาล และน้ำไปเพิ่มประมาณของแข็งแห้งและปริมาณน้ำในสูตร ทำให้ขนมถ้วยฟูมีความแน่นเนื้อ และมีความฉ่ำน้ำเพิ่มขึ้น จากผลที่ได้ผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มปริมาณน้ำในขนมถ้วยฟูสูตรต้นแบบ โดยให้ปริมาณน้ำในสูตรต้นแบบมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำในขนมถ้วยฟูสูตรที่มีการใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณ 20% พบว่าขนมถ้วยฟูที่ได้จากสูตรที่มีการใช้ไซรัปกล้วยหอมจะมีความแน่นเนื้อ และมีความฉ่ำน้ำมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ได้จากสูตรต้นแบบที่มีการเพิ่มปริมาณน้ำในสูตรเล็กน้อย นอกจากนี้เมื่อวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 32±2°C ความชื้น 70–75% นาน 2 ชั่วโมง พบว่าขนมถ้วยฟูที่ได้จากสูตรต้นแบบที่มีการเพิ่มปริมาณน้ำในสูตรจะแห้ง และแข็งมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ได้จากสูตรที่มีการใช้ไซรัปกล้วยหอมอย่างชัดเจน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบอื่นๆนอกเหนือจากแป้ง น้ำตาล และน้ำในไซรัปกล้วยหอม เช่น เส้นใยอาหารมีผลต่อการอุ้มน้ำของขนมถ้วยฟู ทั้งนี้เส้นใยอาหารมีคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี

เมื่อพิจารณาคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูที่ได้ ในด้านการยอมรับรวม พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมถ้วยฟูที่มีการใช้ไซรัปกล้วยหอมในสูตร 20% มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชอบขนมถ้วยฟูที่มีกลิ่นกล้วยหอมจากธรรมชาติ มีความแน่นเนื้อ และมีความฉ่ำน้ำ

จากผลที่ได้ ผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มปริมาณไซรัปกล้วยหอมในสูตรเป็น 25% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ พบว่าขนมถ้วยฟูที่ได้ค่อนข้างแฉะ เกิดการฟูเล็กน้อย และไม่สามารถแคะออกจากถ้วยตะไลได้โดยไม่เสียรูปทรง ดังนั้นการใช้ไซรัปกล้วยหอมในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู เพื่อเป็นสารแต่งกลิ่นรสกล้วยหอมที่ได้จากธรรมชาติ ทดแทนการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นสังเคราะห์ และเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงหน้าที่ และคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟูจึงมีข้อจำกัดในด้านปริมาณที่ใช้ด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองในบทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะได้โดยตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สิ่งที่ศึกษา	สรุปผลการทดลอง	ข้อเสนอแนะ
วัตถุดิบ		
<u>กล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะ 6, 7 และ 8</u>		
ลักษณะทางเคมีกายภาพ		
ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.25-3.06 μgDPPH/μgFM หรือ 23.29-33.64 mM TE/g FM และเมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้น จะมีค่าแอกทิวิตีรวมในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น	ควรศึกษาชนิดสารประกอบที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในเนื้อกล้วยหอม เพราะอาจช่วยให้การสรุปผลชัดเจนขึ้น
สี	สีของเนื้อกล้วยหอม มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุก โดยความสว่างของเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าลดลง เมื่อกล้วยหอมสุกมากขึ้น กล้วยที่สุกระยะ 7 เนื้อจะมีความอิ่มตัวของสีเหลืองมากที่สุด และมีสีเหลืองสดใสมากว่าระยะอื่นๆ	
ปริมาณความชื้น	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 76.13-79.28% และเมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้น จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น	
ค่า pH	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.96-5.86 และเมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้น จะมีค่า pH เพิ่มขึ้น	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สิ่งที่ศึกษา	สรุปผลการทดลอง	ข้อเสนอแนะ
ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.92-3.47% และกล้วยหอมมีระยะการสุกมากมากขึ้น ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดจะมีค่าลดลง	
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 93.00-172.39 mg Glucose/g และเมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น	
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18.0-22.5 °Brix และเมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จะมีค่าลดลง	
ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.27-22.01%db และในระหว่างการสุกปริมาณเส้นใยอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก	
ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก		ควรศึกษาค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติกของเนื้อกล้วยหอมกับจุลินทรีย์สุขภาพหลายๆ สายพันธุ์ เนื่องจากสายพันธุ์ของจุลินทรีย์มีผลต่อค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก
Lactobacillus acidophilus LA5	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -0.04 ถึง -0.20	
Bifidobacterium Lactis BB-12	มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.24 ถึง 0.34	
สารระเหยได้ในเนื้อกล้วยหอม	กล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีชนิดสารระเหยได้ และปริมาณสารที่ให้กลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมากที่สุด	
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	กล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีมีคะแนนด้านกลิ่นรสกล้วยหอม และรสหวานสูงกว่ากล้วยหอมที่สุกระยะอื่นๆ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับกล้วยหอมที่สุกระยะ 8 ดังนั้นจึงเลือกใช้กล้วยหอมที่สุกระดับ 7 เป็นวัตถุดิบตั้งต้น	ในการผลิตไซรัปกล้วยหอมในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สิ่งที่ศึกษา	สรุปผลการทดลอง	ข้อเสนอแนะ
การเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล	ให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำเดือด จนจุดกึ่งกลางของผลกล้วยมีอุณหภูมิ 85 °C นาน 5 นาที ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.50% (น้ำหนักกรด/น้ำหนักเนื้อกล้วยหอม)	ควรศึกษาผลของวิธี/เทคนิคการให้ความร้อน เพราะอาจช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ได้ เช่น คลื่นไมโครเวฟ
การแปรรูปด้วยเอนไซม์สำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ	นำเนื้อกล้วยหอมบดนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 1.5% ที่อุณหภูมิ 32±2 °C pH 4.64±0.11 นาน 3 ชั่วโมง ที่ภาวะนี้จะได้ไซรัปกล้วยหอมที่มีสีเหลืองนวล มีกลิ่นกล้วยหอมชัดเจนมากขึ้น และมีเสถียรภาพ โดยไซรัปที่ได้จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 125 mg Glucose/g มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 17.3 °Brix และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 98 μm	ควรศึกษาผลของอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์ เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ ซึ่งอาจจะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการแปรรูปได้
ลักษณะเฉพาะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้		
ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.49 μgDPPH/μgFM หรือ 421.42 mM TE/g FM	ควรศึกษาชนิดสารประกอบที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในไซรัปกล้วยหอม เพราะอาจช่วยให้การสรุปผลชัดเจนขึ้น
ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.75 %db	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สิ่งที่ศึกษา	สรุปผลการทดลอง	ข้อเสนอแนะ
ค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* LA5 *Bifidobacterium lactis* BB-12	 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.12 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30	ควรศึกษาค่าแอกทิวิตีของสาร พรีไบโอติกของไซรัปกล้วยหอมกับจุลินทรีย์สุขภาพหลายๆสายพันธุ์ เนื่องจากสายพันธุ์ของจุลินทรีย์มีผลต่อค่าแอกทิวิตีของสารพรีไบโอติก
สารระเหยได้ในเนื้อกล้วยหอม	พบสารระเหยได้ 2 ชนิด คือ 3-Methylbutyl ester (Isoamyl butyrate) และ 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester ที่เป็นสารที่ให้กลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของกล้วยหอม ในปริมาณที่สูงกว่าวัตถุดิบตั้งต้น	
การใช้ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร	การใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณเพิ่มขึ้น ขนมถ้วยฟูจะมีสีเหลืองนวล มีกลิ่นรสกล้วยหอม มีความแน่นเนื้อ และมีความฉ่ำน้ำมากขึ้น มีกลิ่นรสแปลกปลอมจากยีสต์ลดลง ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมถ้วยฟูที่มีการใช้ไซรัปกล้วยหอมในสูตร 20% มากที่สุด	ควรศึกษาการนำไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ที่ต้องการให้มีกลิ่นรสกล้วยหอม มีเนื้อสัมผัสที่มีความแน่นเนื้อ และมีความฉ่ำน้ำ ควรศึกษา Stability profile เช่น อุณหภูมิ และ pH ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ดุษณี สุทธปรียาศรี. 2533. เส้นใยอาหารเพื่อคุณภาพชีวิต. Fitness. 2: 79-82.

นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข. 2545. แอนอิออกซิเดนท์ สารต้านมะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่281). 2547. เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 121 ตอนพิเศษ 97 ง ลงวันที่ 6 กันยายน 2547. 31-38.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรณทิพา วิเชียรสรรค์. 2550. โยเกิร์ตผสมจุลินทรีย์สุขภาพ (Probiotic Yoghurt)[Online]. แหล่งที่มา: http://advisor.anamai.moph.go.th/healthteen/health17.html[2550, 3 ตุลาคม]

พานิชย์ ยศปัญญา. 2541. กล้วยในเมืองไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.

วิจิตร วังใน. 2530. กล้วย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศศิธร พรหมเมตจิต, กนกวรรณ เตียงธวัช และ ชลทิพา ธนะปุระ. 2534. เส้นใยอาหารชนิดละลายน้ำได้และไม่ละลายในผลไม้บางชนิด. ปริญญานิพนธ์. คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุลกากร, กรม. 2550. สถิติการส่งออกกลุ่มสินค้าพิเศษ: กล้วย. ฝ่ายข้อมูล ส่งเสริมการส่งออก กระทรวงการคลัง.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุเจือปนอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: โรงพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2550. สถิติการปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้นปี 2544-2549. ฝ่ายข้อมูล ส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน.

สังคม จงพิพัฒน์วณิชย์. 2546. เพิ่มคุณค่าโยเกิร์ตด้วยโพรไบโอติก. ทันโลกโภชนาการ. 9 (7): 2-11.

สาธารณสุข, กระทรวง. 2535. คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

อรุณี เพียรทวีรัชต์ และ ปราณี อ่านเปรื่อง. 2536. ผลของเพคติเนส เซลลูเลส และ อะมัยเลส ต่อการผลิตน้ำกล้วยหอม. อาหาร. 23 (3): 188-196.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ Radical Scavenging Agent. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: พี. เอส. พริ้นท์.

ภาษาอังกฤษ

Alvarez, S., Alvarez, R., and Coca, J. 1998. Influence of depectinization on apple juice ultrafiltration. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 138 (2-3): 377-382.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Washington D.C.

Baghurst, P. A., Baghurst, K. I., and Record, S. J. 1996. Dietary fiber, Non-starch polysaccharides and resistant starch; a review. Food Australia. 48 (3): S1-S35.

Bouhnik, Y., Flourié, B., Ouarne, F., Riottot, M., Bisetti, N., Bornet, F., and Rambaud, J. 1994. Effects of prolonged ingestion of fructo-oligosaccharides on colonic bifidobacteria, fecal enzymes and bile acids in humans. Gastroenterology. 106: A598.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., and Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. Food Science and Technology. 28: 25–30.

Branen, A. L., and Haggerty, R. J. 2002. Introduction to food additives. In A. L. Branen, P. M. Davidson, S. Salminen, and J. H. Thorngate III (eds). Food Additives. 1-10. U.S.A.: Marcel Dekker, Inc.

Campbell, J. M., Bauer, L. L, Fahey, G. C. Jr., Hogarth, A. J. C. L., Wolf, B. W., and Hunter, D. E. 1997. Selected fructooligosaccharide (1-kestose, nystose, and 1F-b-fructofuranosylnystose) composition of foods and feeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 45: 3076–3082.

Carpita, N. C., Kanabus, J., and Housley, T. L. 1989. Linkage structure of fructans oligomers from *Triticum aestivum* and *Festuca arumdinacea* leaves. Journal of Plant Physiology. 134: 162-168.

Ceirwyn, S. J. 1995. Theory of analytical methods for specific food constituents. Analytical Chemistry of Food. 37-62.

Chokeprasert, P., Charles, A. L., Sue, K. H., and Huang, T. C. 2007. Volatile components of the leaves, fruits and seeds of wampee [*Clausena lansium* (Lour.) Skeels]. Journal of Food Composition and Analysis. 20: 52–56.

Clemente, E., and Pastore, G. M. 1998. Peroxidase and polyphenol oxidase, the importance for food technology. [CD-ROM] Abstract from: FSTA (1990-2000): Abstract No. 2000-01-J0069.

Cordenunsi, B. R., Shiga, T. M., and Lajolo, F. 2007. Non-starch polysaccharide composition of two cultivars of banana (*Musa acuminata* L.: cvs Mysore and Nanicão). Carbohydrate Polymers[Online].
Available from: http://www.sciencedirect.com[2007, Sep 30]

Coudray, C., Bellanger, J., Castiglia-Delavaud, C., Rémésy, C., Vermorel, M., and Rayssignuier, Y. 1997. Effect of soluble or partly soluble dietary fiber supplemention on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. European Journal of Clinical Nutrition. 51: 375-380.

DH (Department of Health).1991. Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom. HMSO: London.

Drell, W. 1970. Separation of catecholamines from catechol acids by alumina. Analytical Biochemistry. 34: 142-151.

FAO/WHO. 1999. Summary of evaluation performed by the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Food and Agriculture Organization and World Health Organization, Rome.

Fennema, O. R. 1996. Food chemistry. 3rd ed. New York: Marcel Dekker.

Food and Drug Administration, 2001. Premarket notice concerning bioengineered foods. Federal Register. 66: 4706-4738.

Francisco, D. V., Octavio, P. L. 2003. Carotenoids. Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses 151-153. New York: CRC Press.

Galeazzi, M. A. M., Sgarbieri, V. C., and Constantinides, S. M. 1981. Isolation, purification and physiochemical characterization of polyphenol oxidase (PPO)

from a dwarf variety of banana (*Musa cavendishii* L.). Juornal of Food Science. 46: 150-155.

Galeazzi, M. A. M., and Sgarbieri, V. C.1981. Substrate specificity and inhibition of polyphenol oxidase (PPO) from a dwarf variety of banana (*Musa cavendishii* L.). Juornal of Food Science. 46: 1404-1406.

Gallagher, D., Stallings, W., Blessing, L., Busta, F., and Brady, L. 1996. Probiotic, cecal microflora and aberrant crypts in the rat colon. Journal of Nutrition. 126: 1362-1371.

Gibson, G. R., and Roberfroid, M. B. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota introducing the concept of prebiotics. Journal of Nutrition. 125: 1401-1412.

Gordon, M.H. 2001a. Measuring antioxidant activity. Antioxidants in food: practical applications, 71–84. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Gordon, M.H. 2001b. The development of oxidative rancidity in foods. Antioxidants in food: practical applications, 7–21. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Grassin, C., and Fauquembergue, P. 1996. Fruit juices. In T. Godfray and S. West (eds.), Industrial Enzymology. 208-224. New York: Stockton Press.

Hogarth, A. J. C. L., Hunter, D. E., Jacobs, W. A., Garleb, K. A., and Wolf, B. W. 2000. Ion chromatographic determination of three fructooligosaccharide oligomers in prepared and preserved foods. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 5326–5330.

Homme, C. L., Puigserver, A., and Biagini, A. 2003. Effect of food-processing on the degradation of fructooligosaccharides in fruit. Food Chemistry. 82: 533–537.

Huebner, J., Wehling, R. L., and Hutkins, R. W. 2007. Functional activity of commercial prebiotics. International Dairy Journal. 17 (7): 770-775.

Iyengar, R., and McEvily, A. J. 1992. Anti-browning agents: alternatives to the use of sulfites in foods. Trends in Food science & Technology. 3: 60-64.

Jaleel, S. A., Basappa, S. C., Ramesh, A., and Sreekantiah, K. R. 1978. Developmental studies on emzymatic processing of banana (*Musa cavendishii*). I. Lavoratory Investigation. Indian Food Packer. 32 (2): 17-20.

John, P., and Marchal, J. 1995. Ripening and biochemistry of the fruit. In S. Goven (ed.), Banana and plantains. London: Chapman & Hall.

Jordán, M. J., Tandon, K., Shaw, P. E., and Goodner, K. L. 2001. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 4813-4823.

Kanazawa, K., and Sakakibara, H. 2000. High content of dopamine, a strong antioxidant, in Cavendish banana. Journal of Agricultural and Chemistry. 48: 844-848.

Kaur, G., Kumar, S., and Satyanarayana, T. 2004. Production, characterization and application of a thermostable polygalacturonase of a thermophilic mould Sporotrichum thermophile Apinis. Bioresource Technology. 94: 239–243.

Krosida, M. R., Maroulis, Z. B., and Saravacos, G. D. 2001. The effect of method of drying on the colour of dehydrated products. International Journal of Food Science and Technology. 36: 53-59.

Laurila, E. K., Hurme, E. U., and Ahvenainen, R. T. 1998. Shelf life of sliced raw potatoes of various cultivar varieties – substitution of bisulfites. Journal of Food Protection. 61 (10): 1363-1371.

Lea, A. G. H. 1995. Enzymes in the production of beverages and fruit juices. In G. A. Tucker, and L. F. L. Woods (eds.). Enzymes in Food Processing. 223-249. London: Blackie Academic & Professional.

Lee, W. C., Yusof, S., Hamid, N. S. A., and Baharin, B. S. 2006. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). Journal of Food Engineering. 73: 55-63.

Lee, Y. K., and Khng, H. P. 2002. Natural color additives. In A. L. Branen, P. M. Davidson, S. Salminen, and J. H. Thorngate III (eds). Food Additives. 501-520. U.S.A.: Marcel Dekker, Inc.

Lii, C. Y., Chang, S. M., and Young, Y. L. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. Journal Food Science. 47: 1493-1497.

Macku, C., and Jennings, W. G. 1987. Journal of Agricultural and Chemistry. 35: 845-850.

Maisuthisakul, M., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants Food Chemistry. 100: 1409–1418.

Mayer, M. A., Philippon, J., and Nicolas, J. 1993. Browing: enzymatic-biochemical aspects. In R. Macrae, R. K. Robinson and M. J. Sadler (eds.), Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition, 499-506. London: Academic Press.

Mayr, D., Märk, T., Lindinger, W., Brevard, H., and Yeretzian, C. 2003. Breath-by-breath analysis of banana aroma by proton transfer reaction mass spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry. 223-224: 743-756.

Michael, H.G. 2001. Measuring antioxidant activity. Antioxidants in Food: Practical Applications, 71-84. New York: CRC Press.

Montogery, D. C. 2001. Design and analysis of experiments. 5th ed. New York: John Wiley&Sons.

Myers, M. J., Issenberg, P., and Wick, E. L. 1969. Vapor analysis of the production by banana fruit of certain volatile constituents. Journal of Food Science. 34 (6): 504–509.

Nawirska, A., and Kwašniewska, M. 2005. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. Food Chemistry. 91: 221–225.

Nelson, N. 1994. Determination of glucose. Journal Biological and Chemistry. 153: 375-380.

Nijssen, L. M., Visscher, C. A. Maarse, H., Willemsens, L.C., and Boelens, M.H. 1996. Volatile Compounds in Foods Qualitative and Quantitative Data.7th ed. TNO Nutrition and Food Research Institute. Zeist. The Netherlands.

P´erez, A. G., Cert, A., R´ıos, J. J., and Ol´ıas, J. M. 1997. Free and glycosidically bound volatile compounds from two banana cultivars: Valery and Pequéna. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 45: 4393–4397.

Pilnik, W., and Rombouts, F. M. 1979. Polysaccharide in Food. London: Butterworths.

Pilnik, W., and Voragen, A. G. J. 1991. The significance of endogenous and exogenous pectic enzyme in fruit and vegetable processing. In P. F. Fox (eds). Food Enzymology. 303-336. England: Elsevier Science Publishers LTD.

Pizzocaro, F., Torreggiani, D., and Gilardi, G. 1993. Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium cholide. Journal of Food Processing and Preservation. 17 (1): 21-30.

Pokorny, J. 2001. Introduction. In J. Pokorny, N. Yanishlieva, and M. H. Gordon (eds.), Antioxidants in Food: Practical Applications. 1–3. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Prabha, T. N., and Bhagyalakshmi, N. 1998. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. Phytochemistry. 48 (6): 915-919.

Prior, R. L., Cao, G., Matin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G., and Mainland, C. M. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of Vaccinium species. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46: 2686–2693.

Prosky, L., and De Vries, J. 1991. Controlling dietary fiber in food product. New York: Van Nostrand.

Punchard, N. A., and Kelly, F. J. 1996. Oxidants, Antioxidants, and Free Radicals. Washington DC.: Taylor and Francis.

Ratule, M. T., Osman, A., Saari, N., and Ahmad, S. H. 2007. Microstructure of peel cell wall and selected physico-chemical characteristics of 'Berangan' banana (*Musa* cv. Berangan [AAA]) ripened at high temperature. Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology. 15 (1): 8-13.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine. 26: 1231-1237.

Reddy, B. S., Hamid, R., and Rao, C. V. 1997. Effect of dietary oligofructose and inulin on colonic preneoplastic aberrant crypt foci inhibition. Carcinogenesis. 18 (7): 1371-1374.

Revilla, I., and Ganzalez-san jose, M.L. 2003. Addition of pectolytic enzymes: an enological practice which improves the chromaticity and stability of red wines. Journal Food Science and Technology. 38: 29-36.

Rice-Evans, C. 1999. Screening of phenolics and flavonoids for antioxidant activity. In L. Packer, M. Hiramatsu, and T. Yoshikawa (eds). Antioxidant Food Supplements in Human Health. 239-253. USA: Acadamic press.

Roberfroid, M. B., and Delzenne, N. M. 1998. Dietary fructans. Annual Review of Nutrition. 18: 117-143.

Sakai, T. Sakamoto, T. Hallaert J., and Vandamme, E.J. 1993. Pectin, pectinase and protopectinase: production, properties and applications, Advances Applied Microbiology 39: 231–294.

Salisbury, F. B., and Ross, C. W. 1985. Plant Physiology. 3rd ed. Wadsaorth Publishing.

Salmon, B., Martin, G. J., Remaud, G., and Fourel, F. 1996. Compositional andisotopic studies of fruit flavor. The banana aroma. Flavour and Fragrance Journal. 11: 353–395.

Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means. Food Technology. 47 (2): 75-84.

Sawaya, W., Husain, A., Al-Otaibi, J., Al-Foudari, M., and Hajji, A. 2008. Colour additive levels in foodstuffs commonly consumed by children in Kuwait. Food Control. 19: 98–105

Seymour, G. B., Taylor, J. E., and Tucker, G. A. 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. New York: Chapman & Hall Publishing Company Limited.

Shiota, H., 1993. New esteric components in the volatiles of banana fruit (*Musa sapientum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 41: 2056–2062.

Silayoi, B. 1986. Postharvest handling, products and standards of banana. Asean Food Standard Office. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi. Bangkok.

Spiller, G. A., Ahipley, E. A., and Blake, J. A. 1978. Recent progress in dietary fiber in human nutrition. Critical Review of Food Science and Nutrition. 10: 31.

Sreekantiah, K. R., Jaleel, S. A., and Rao, T. N. R. 1971. Utilization of fungal enzymes of the liquefaction of soft fruit and extraction and clarification of fruit juice. Journal Food Science and Technology. 8 (1): 201–205.

Sreenath, H. K., Nanjundaswamy, A. M., and Sreekantiah, K. R. 1987. Effect of various cellulases and pectinases on viscosity reduction of mango pulp. Journal of Food Science 52: 230-231.

Sreenath H. K., Sudarshanakrishna K. R., and Santhanam K. 1994. Improvement of juice recovery from pineapple pulp/residue using cellulases and pectinases. Journal of Fermentation and Bioengineering. 78 (6): 486-488.

Stover, R. H., and Simmonds, N. W. 1987. Banana. 3rd ed. New York: Longman Scientific and Technical/John Wiley and Sons.

Sugita, Y. H. 2002. Flavor enhancers. In A. L. Branen, P. M. Davidson, S. Salminen, and J. H. Thorngate III (eds). Food Additives. 409-446. U.S.A.: Marcel Dekker, Inc.

Sumner, S .S., and Eifert, J. D. 2002. Risks and benefits of food additives. In A. L. Branen, P. M. Davidson, S. Salminen, and J. H. Thorngate III (eds). Food Additives. 27-42. U.S.A.: Marcel Dekker, Inc.

Taylor, R. B. 2001. Introduction to fruit processing. In D. Arthey, and P. R. Ashurst (eds.), Fruit Processing Nutrition, Products, and Quality Management. Maryland: An Aspen Publication.

Thaipong, K., Boonprakkob, U., Ckrosby, K., Cisneros-Zevallos, L., and Byrne, D.H. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. Journal of Food Composition and Analysis. 19: 669-675.

Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Harrington, M., and Bourgeois, C. M. 1997. Dietary fibres: Nutritional and technological interest. Trends in Food Science & Technology. 8 (2): 41-48.

Thorngate III, J. H. 2002. Synthetic food colorants. In A. L. Branen, P. M. Davidson, S. Salminen, and J. H. Thorngate III (eds). Food Additives. 477-500. U.S.A.: Marcel Dekker, Inc.

Tressl, R., and Jennings, W. G. 1972. Production of volatile compounds in the ripening banana. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 20 (2): 189-192.

Tucker, G. A. 1995. Fundamentals of enzyme activity. In G. A. Tucker, and L. F. L. Woods (eds.). Enzymes in Food Processing. 1-25. London: Blackie Academic & Professional.

UshaV, Vijayammal P. L., and Kurup, P. A. 1989. Effect of dietary fiber from banana (*Musa paradisiaca*) on metabolism of carbohydrates in rats fed cholesterol free diet. Indian Journal Experimental Biology. 27 (5): 445-9.

Van, L. J., Coussement, P., DeLeenheer, L., Hoebregs, H., and Smits, G. 1995. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet. CRC Critical Reviews in Food Science & Nutrition. 35: 525-552.

Velioglu, Y. S., Massa, G., Gao, L., and Oomah, B. D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46: 4113–4117.

Viquez, F., Lastreto, C., and Cooke, R. D. 1981. A study of the production of clarified banana juice using pectinolytic enzymes. Journal Food Technology. 16: 115-125.

Whitaker, J. R. 1994. Pectic substances, pectic enzyme and haze formation in fruit juices. Enzyme Microbiology Technology. 6: 341-349.

Yang, C. P., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N., and Hayashi, N. 2000. Purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientum* L.) pulp. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48 (7): 2732-2735.

Zanini, K., Marzotto, A., Castellazzi, A., Borsari, A., Dellaglio, F., and Torriani, S. 2007. The effects of fermented milks with simple and complex probiotic mixtures on the intestinal microbiota and immune response of healthy adults and children. International Dairy Journal 17: 1332–1343.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 การวิเคราะห์ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ตามวิธีของ Maisuthisakul และคณะ (2007)

<u>สารเคมี</u>

Methanol (CH_3OH)

สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 5 mM ใน CH_3OH

<u>อุปกรณ์</u>

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่อง Spectrophotometer

<u>วิธีทดลอง</u>

1.เตรียมสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอมที่เจือจางด้วย CH_3OH ในอัตราส่วนต่างๆ

2.นำสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอมแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 4.9 ml ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 5 mM ใน CH_3OH ปริมาตร 100 µl ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที

3.วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดที่มีการเติมสารละลาย DPPH (A_1) ของตัวอย่างที่ผ่านการเจือจางแต่ไม่มีการเติม DPPH (A_s) และของสารละลาย DPPH (A_0) ที่ความยาวคลื่น 517 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้ CH_3OH เป็น blank

ปริมาณของสารอนุมูลอิสระ DPPH ที่ลดลง (DPPH radical-scavenging activity) ของตัวอย่างสารสกัดจากกล้วยหอมแต่ละความเข้มข้นสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{DPPH radical-scavenging activity (\%)} = \frac{[A_0 - (A_1 - A_s)]}{A_0} \times 100$$

สร้างกราฟระหว่างปริมาณของสารอนุมูลอิสระ DPPH ที่ลดลง และความเข้มข้นของสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอม เพื่อหาปริมาณของสารสกัดที่สามารถลดความเข้มข้นของสารอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% (เรียกว่า EC_{50}) และค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระ จะกำหนดด้วยค่า $1/EC_{50}$

ก.2 การวิเคราะห์ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS

ตามวิธีของ Thaipong และคณะ (2006)

สารเคมี

ABTS

Methanol (CH_3OH)

Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$)

Trolox®

อุปกรณ์

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่อง Spectrophotometer

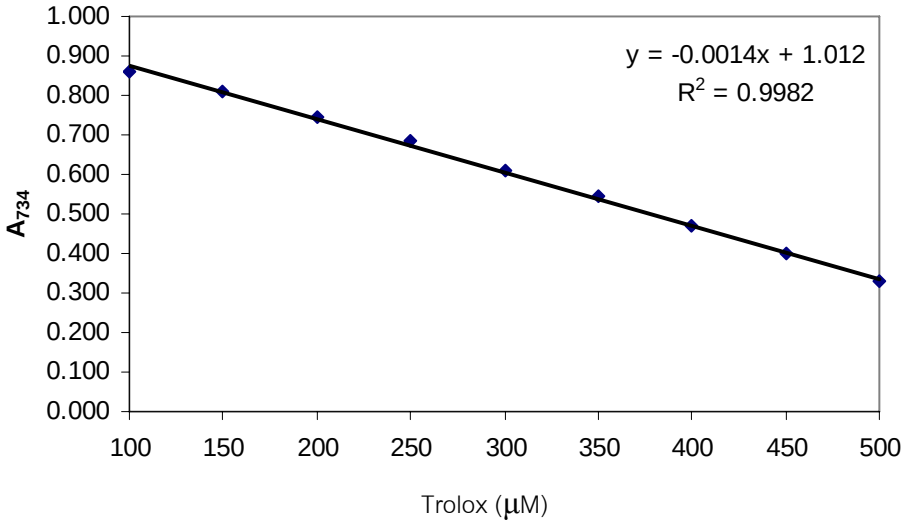
วิธีทดลอง

1.เตรียม Stock solutions ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย ABTS 7.4 mM และสารละลาย $K_2S_2O_8$ 2.6 mM

2.เตรียม Working solutions โดยผสม Stock solutions ทั้งสองชนิดในอัตราส่วนที่เท่ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง นาน 12 h นำสารละลายที่ได้มาเจือจางด้วยสารละลายที่ประกอบด้วย ABTS 1 ml และ Methanol 60 ml จนสารละลายที่ได้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm เท่ากับ 1.1$\pm$0.02 ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้ Methanol เป็น blank และเรียกสารละลายที่ได้ว่า ABTS solution

3.นำตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอมปริมาตร 150 µl มาทำปฏิกิริยากับ ABTS solution ปริมาตร 2850 µl ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืดนาน 2 h จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm (A_{734}) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

สร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ Trolox® ความเข้มข้น 100-500 µM แทนสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอม ผลที่ได้จะแสดงในรูปของ mM Trolox® equivalents (TE)/g fresh mass (FM)



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานปริมาณของสารอนุมูลอิสระ DPPH ที่ลดลง ของ Trolox®

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

ตู้อบลมร้อน

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ถ้วยอลูมิเนียม

โถดูดความชื้น (desiccator)

<u>วิธีทดลอง</u>

1.ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ภาชนะอลูมิเนียมซึ่งอบแห้ง และชั่งน้ำหนักไว้แล้ว

2.นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักคงที่

3.นำมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวนปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}]}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง}} \times 100$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ในรูปของกรดซิตริก

ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990)

สารเคมี

สารละลาย Phenolphthalein indicator

สารละลาย Sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.1 N

สารละลาย Potassium hydrogen phthalate (KHP)

อุปกรณ์

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีทดลอง

1.หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน Sodium hydroxide โดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน KHP โดยใช้ Phenolphthalein เป็น Indicator

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH} = \frac{\text{น้ำหนักของ KHP} \times \text{ปริมาตรของ KHP}}{\text{ปริมาตรของ NaOH} \times 204.229}$$

2.ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) เติมน้ำเล็กน้อย ต้มให้เดือด 2-3 นาที

3.ทำให้เย็น ถ่ายใส่ขวดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วกรองเอากากออก

4.ปิเปตส่วนที่กรองได้ 10 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 ml

5.เติมสารละลาย Phenolphthalein 2 หยด

6.ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน Sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติซึ่งมีสีชมพูอ่อนๆ บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Sodium hydroxide ที่ใช้ในการไตเตรต คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมด ในรูปของกรดซิตริก โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{นอร์มัลลิตี NaOH} \times \text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้} \times \text{มิลลิอิควิวาเลนท์ของกรดซิตริก} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times \frac{50}{10}$$

โดยที่มิลลิอิควิวาเลนท์ของกรดซิตริก (Milliequivalent of citric acid monohydrate) = 0.07

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ตามวิธีของ Nelson (1994)

<u>สารเคมี</u>

Ammonium molybdate ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$)

Anhydrous sodium dihydrogen phosphate (NaH_2PO_4)

Anhydrous sodium sulphate (Na_2SO_4)

Copper sulphate pentahydrate ($CuSO_4\ 5H_2O$)

Potassium sodium tartrate ($KNaC_4H_4O_6$)

Sodium hydroxide (NaOH)

Sulfuric acid (H_2SO_4)

Sodium arsenate ($Na_2HAsO_4.7H_2O$)

Glucose

<u>อุปกรณ์</u>

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่อง Spectrophotometer

<u>วิธีทดลอง</u>

1.เตรียมสารละลาย Alkaline copper reagent โดยละลาย NaH_2PO_4 14 กรัม และ $KNaC_4H_4O_6$ 20 กรัม ในน้ำกลั่น 350ml เติม NaOH เข้มข้น 1 N ปริมาตร 50ml เติม $CuSO_4\ 5H_2O$ เข้มข้น 10% ปริมาตร 20ml และเติม Anhydrous Na_2SO_4 50 กรัม ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรสุดท้ายเป็น 500ml ทิ้งไว้ 1-2 วันในขวดสีชา

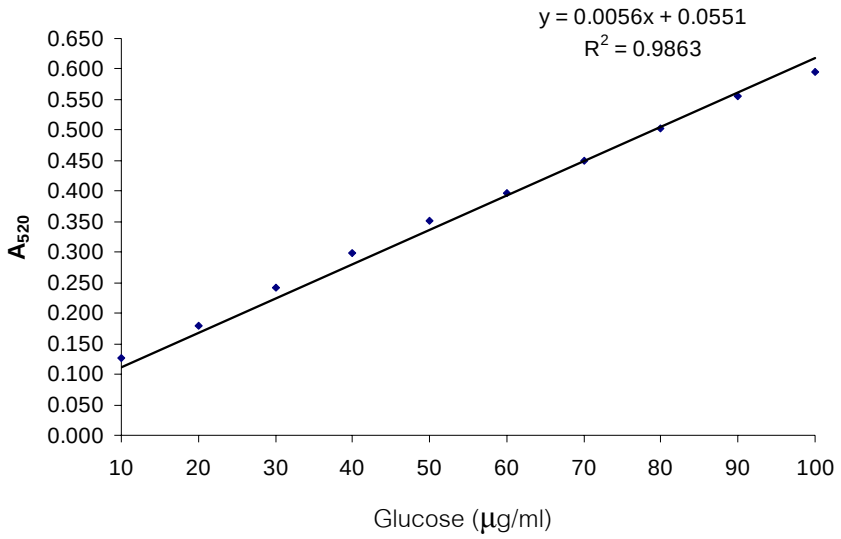
2.เตรียมสารละลาย Asenomolydate reagent โดยละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 25 กรัม ในน้ำกลั่น 400ml เติม Conc. H_2SO_4 21ml และสารละลาย $Na_2HAsO_4.7H_2O$ (ได้จาก $Na_2HASO_4.7H_2O$ 3 กรัม ในน้ำกลั่น 12.5ml) ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1-2 วันในขวดสีชา

3.เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสเข้มข้น 10-100 μg/ml ปิเปตต์สารละลายแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1ml เติมสารละลาย Alkaline copper reagent ปริมาตร 1ml นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทำให้เย็น เติม Asenomolydate reagent ที่เจือจางด้วยสารละลาย Sulfuric acid เข้มข้น 1.5 N ในอัตราส่วน 1:2 ปริมาตร 1ml และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 ml จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm (A_{520})

4.ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank โดยผ่านขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 3

5.นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

6.การวิเคราะห์ตัวอย่างกล้วยหอมให้ทำการเจือจางจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นนำไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm ของสารละลายกลูโคส

ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)

ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1995)

<u>สารเคมี</u>

Ethanol 95%

Ethanol 78%

Acetone (C_3H_6O)

Phosphate buffer 0.08 M pH 6 เตรียมโดยการละลาย Na_2HPO_4 1.4 กรัม และ NaH_2PO_4 9.68 กรัม ในน้ำกลั่น 700ml และปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น วัด pH

เอนไซม์ Amylase (Fungamyl® 800L)

เอนไซม์ Protease (Alcalase® 2.4 L)

เอนไซม์ Amyloglucosidase (AMG® 300 L)

Sodium hydroxide (NaOH)

Hydrochloric acid (HCl)

อุปกรณ์

ปั๊มสูญญากาศ

เครื่อง Magnetic stirrer

โถดูดความชื้น (desiccator)

การเตรียมตัวอย่าง

1.นำตัวอย่างมาอบให้แห้งด้วยตู้อบสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 °C ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2.นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียด (ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากกว่า 10% ให้สกัดไขมันออกโดยใช้ Petroleum ether ปริมาณ 25 ml/g ตัวอย่าง 3 รอบ บันทึกน้ำหนักที่หายไป แล้วจึงนำไปบดให้ละเอียด) เก็บตัวอย่างที่เตรียมได้ในโถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมสารละลาย Phosphate buffer ปริมาตร 50 ml ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH 6.0±0.2

2.เติมเอนไซม์ Fungamyl® 800L 0.1 ml ปิดฝาขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 95-100 °C นาน 15 นาที โดยเขย่าขวดทุกๆ 5 นาที

3.ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ปรับ pH ของสารละลายให้เท่ากับ 7.5±0.2 ด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.275 N

4.เติมเอนไซม์ Alcalase® 2.4 L (Alcalase 2.4 L® 50mg ใน Phosphate buffer 1ml) 0.1 ml ปิดปากขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60 °C นาน 30 นาที โดยกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Magnetic stirrer

5.ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และปรับ pH ของสารละลายให้เท่ากับ 4.5±0.2 ด้วยสารละลาย HCl เข้มข้น 0.325 M

6.เติมเอนไซม์ AMG® 300 L 0.3 ml ปิดปากขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60 °C นาน 30 นาที โดยกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Magnetic stirrer และทำให้เย็น

7.เติม Ethanol 95% ที่มีอุณหภูมิ 60 °C ปริมาตร 280 ml ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน

8.กรองสารละลายผ่าน Filter crucible ที่มี Celite จำนวน 0.5 กรัม บรรจุลงในขวด Suction flask

9.นำสารละลายที่กรองได้มาเติม Ethanol 95% ที่มีอุณหภูมิ 60 °C ปริมาตร 280 ml ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน แยกส่วนของเหลวออก

10.ล้างกากที่ได้ด้วย Ethanol 78 % ปริมาตร 20ml 3 รอบ Ethanol 95 % ปริมาตร 10 ml 3 รอบ และ Acetone ปริมาตร 10 ml 2 รอบ เพื่อกำจัดกัม และไขมัน

11.กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No 1 ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 °C ตั้งทิ้งไวให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) คำนวณหาน้ำหนักกากที่ได้ ทำซ้ำ 2 รอบ

12.นำกากที่ได้จากรอบที่ 1 ไปหาปริมาณโปรตีนตามวิธีของ A.O.A.C. นำกากที่ได้จากรอบที่ 2 ไปหาปริมาณเถ้า

คำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) โดยใช้สูตร

$$TDF\ (\%) = [\text{น้ำหนักกากเฉลี่ย} - P_B - A_B] \times 100$$

P_B = น้ำหนักโปรตีน

A_B = น้ำหนักเถ้า

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ใช้ฝึกฝนผู้ทดสอบ

แบบทดสอบการเลือกตัวอย่างที่แตกต่างจากสามตัวอย่าง

รหัสแบบทดสอบ……...

ชื่อ……วันที่……

ตัวอย่าง…….

<u>คำแนะนำ</u> เริ่มทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวา เมื่อทดสอบตัวอย่างครบแล้ว กรุณาระบุว่าตัวอย่างใดที่แตกต่างไปจากสองตัวอย่างที่เหลือ โดยวงกลมล้อมรอบรหัสตัวอย่างนั้น (กรุณาอย่ากลับมาทดสอบตัวอย่างที่ทดสอบแล้วซ้ำใหม่อีก)

……	……	……
(รหัสตัวอย่าง1)	(รหัสตัวอย่าง2)	(รหัสตัวอย่าง3)

ท่านรู้สึกถึงความแตกต่างระหว่างตัวอย่างคู่ที่เหมือนกันกับตัวเดี่ยวที่แตกต่างกันอย่างไร

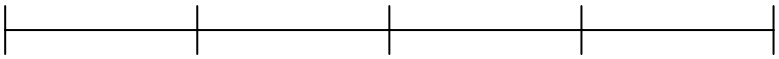
	เล็กน้อย
	ปานกลาง
	มาก

ข.2 แบบทดสอบที่ใช้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง

ชื่อ.....วันที่..... .รหัสตัวอย่าง.....

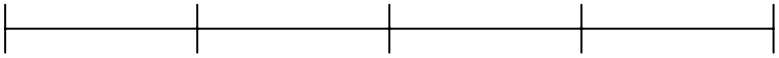
คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างที่ได้รับ โดยทำเครื่องหมาย x ณ จุดที่ท่านคิดว่าเหมาะสมต่อการอธิบายลักษณะนั้นๆของตัวอย่าง

1. **สี**



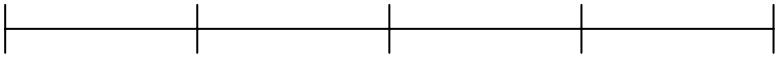
1 สีขาวอมเทา มีสีคล้ำ หรือมีสีผิดปกติ | 2 สีขาวซีด | 3 สีเหลืองอ่อน | 4 สีเหลืองปานกลาง | 5 สีเหลืองทอง คล้ายสีของเปลือกกล้วยหอมสุก

2. **ความสม่ำเสมอของสี**



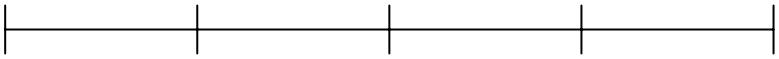
1 สีไม่สม่ำเสมอ มีจุดด่างดำมาก หรือมีรอยด่างสีน้ำตาล | 2 สีไม่สม่ำเสมอ มีจุดด่างดำปานกลาง | 3 สีไม่สม่ำเสมอ มีจุดด่างดำเล็กน้อย | 4 สีค่อนข้างสม่ำเสมอ | 5 สีสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น

3. **กลิ่นรสกล้วยหอม**



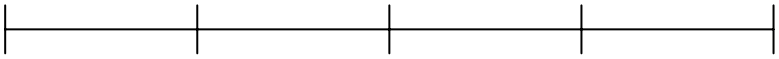
1 ไม่มีกลิ่นรสกล้วยหอม มีกลิ่นเหม็นเขียว หรือมีกลิ่นผิดปกติ | 2 มีกลิ่นรสกล้วยหอมเล็กน้อยและมีกลิ่นเหม็นเขียว | 3 มีกลิ่นรสกล้วยหอมเล็กน้อย | 4 มีกลิ่นรสกล้วยหอมปานกลาง | 5 มีกลิ่นรสของกล้วยหอมที่หอมหวานชัดเจน

4. **กลิ่นรสแปลกปลอม** (หมายถึงกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นยีสต์ กลิ่นหมัก กลิ่นอับ เป็นต้น)



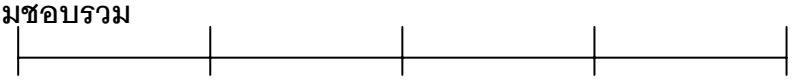
1 มีกลิ่นรสแปลกปลอมชัดเจนมากที่สุด | 2 มีกลิ่นรสแปลกปลอมชัดเจนมาก | 3 มีกลิ่นรสแปลกปลอมปานกลาง | 4 มีกลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อย | 5 ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม

5. **รสหวาน**



1 ไม่มีรสหวาน มีรสฝาด หรือมีผิดปกติ | 2 รสหวานเล็กน้อย มีรสฝาดปน | 3 รสหวานเล็กน้อย | 4 รสหวานปานกลาง | 5 รสหวานมาก

6. **ความชอบรวม**



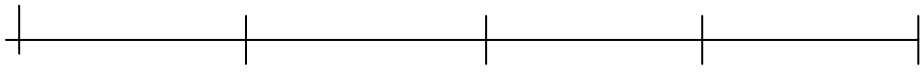
1	2	3	4	5
ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	เฉยๆ	ชอบปานกลาง	ชอบมาก

ข.3 แบบทดสอบที่ใช้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ เมื่อนำไปเติมลงในขนมถ้วยฟู

ชื่อ.....วันที่..... .รหัสตัวอย่าง.....

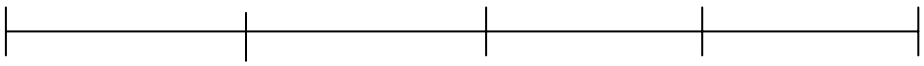
<u>คำแนะนำ</u> กรุณาทดสอบตัวอย่างที่ได้รับ โดยทำเครื่องหมาย X ณ จุดที่ท่านคิดว่าเหมาะสมต่อการอธิบายลักษณะนั้นๆของตัวอย่างขนมถ้วยฟู เมื่อเปรียบเทียบ R

1. **สี**



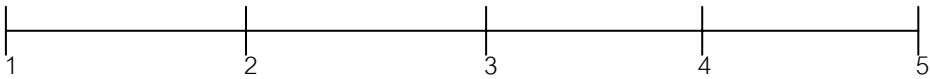
1	2	3	4	5
สีคล้ำกว่า R มาก	สีคล้ำกว่า R เล็กน้อย	สีเหมือน R	สีเหลืองนวลกว่า R	สีเหลืองเข้มและนวลกว่า R

2. **กลิ่นรสกล้วยหอม**



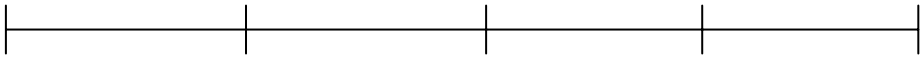
1	2	3	4	5
ไม่มี	น้อยกว่า R	เหมือน R	มากกว่า R เล็กน้อย	มากกว่า R ชัดเจน

3. **กลิ่นรสแปลกปลอม** (หมายถึงกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นหมัก กลิ่นรา เป็นต้น)



1	2	3	4	5
ไม่มี	มีมากกว่า R เล็กน้อย แต่ยอมรับได้	มีมากกว่า R เล็กน้อย และยอมรับไม่ได้	มีมากกว่า R ปานกลาง	มีมากกว่า R ชัดเจนมาก

4. **รสหวาน**



1	2	3	4	5
น้อยกว่า R มาก	น้อยกว่า R เล็กน้อย	เหมือน R	มากกว่า R เล็กน้อย	มากกว่า R มาก

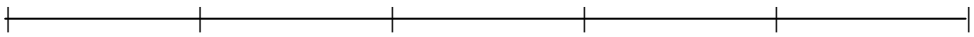
ข.4 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ใช้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟู

รหัสแบบสอบถาม……วันที่……..

ชื่อ-สกุล ผู้ทดสอบ……

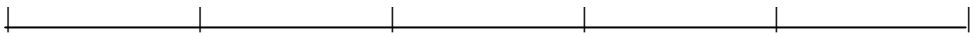
<u>คำแนะนำ</u> แบบสอบถามนี้เป็นการทดสอบความพอใจต่อลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ขนมถ้วยฟู กรุณาทดสอบตัวอย่างที่ท่านได้รับ และทำเครื่องหมาย X พร้อมทั้งเขียนรหัสกำกับ ลงบนเส้นครงที่กำหนดให้ตามลักษณะนั้นๆ

1. **สี**



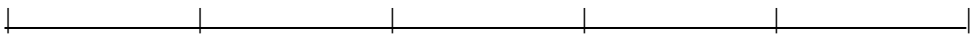
สีขาว สีเหลือง

2. **กลิ่นรสกล้วยหอม**



ไม่มี ชัดเจนมาก

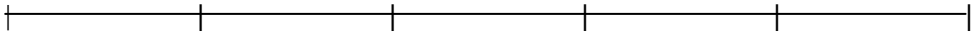
3. **กลิ่นรสแปลกปลอม** (เช่น กลิ่นเหม็นเขียว กลิ่นเอนไซม์ กลิ่นยีสต์ รสเปรี้ยว รสฝาด รสขม)



ไม่มี ชัดเจน

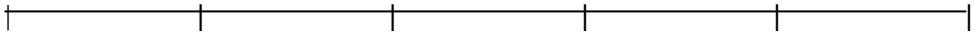
กรุณาระบุกลิ่นรสแปลกปลอมที่ท่านพบ……..

4. **ความแน่นเนื้อ**



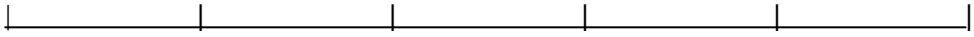
น้อย มาก

5. **ความฉ่ำน้ำ**



น้อย มาก

6. **การยอมรับรวม**



ไม่ยอมรับ ยอมรับมาก

ข้อเสนอแนะ……

ภาคผนวก ค

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

Minimal Medium Broth

กลูโคส	2.0	กรัม
$(NH_4)_2SO_4$	1.0	กรัม
K_2HPO_4	7.0	กรัม
$MgSO_4$	0.5	กรัม
น้ำ	1	ลิตร

ภาคผนวก ง

สูตรต้นแบบขนมถ้วยฟู

อุปกรณ์

ตะแกรงร่อนแป้ง

ถ้วยตวง

ช้อนตวง

ถ้วยตะไล

หม้อนึ่ง

ส่วนผสม

แป้งข้าวเจ้า (ช้างสามเศียร®)	1 ถ้วยตวง
น้ำตาลทราย (ลิน®)	1/3 ถ้วยตวง
น้ำ	1/2 ถ้วยตวง
ยีสต์ (Perfect®)	1/2 ช้อนชา
ผงฟู (อิมพีเรียล®)	1ช้อนชา
กลิ่นกล้วยหอม (วินเนอร์®)	0.05 % ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

วิธีทำ

1.ร่อนแป้งข้าวเจ้ากับยีสต์รวมกัน แล้วค่อยๆ ใส่น้ำทีละน้อยๆ นวดจนแป้งนุ่ม แล้วใส่น้ำตาลทรายลงในแป้ง นวดต่อจนน้ำตาลทรายละลายหมด หลังจากนั้นค่อยๆ ใส่น้ำในส่วนผสมแป้งทั้งหมด

2.ใส่ผงฟู ปิดฝาครอบไว้ 1-2 ชั่วโมง เติมกลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์

3.เรียงถ้วยตะไลลงในหม้อนึ่ง ปล่อยให้น้ำเดือดจนถ้วยร้อนประมาณ 5 นาที

4.ตักขนมที่ผสมไว้ลงในถ้วยตะไลพอเต็มปิดฝานึ่งต่อให้สุกประมาณ 10-15 นาที ยกลงพักไว้ให้เย็น แล้วจึงแคะออกจากถ้วย

ภาคผนวก จ

รายละเอียดของเอนไซม์

ง.1 เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า Pectinex Ultra SP-L®

Pectinex Ultra SP-L® เตรียมจาก *Aspergillus aculeatus* สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว ประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เป็นหลัก และมี เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรติเอส และแอมิเลส ปริมาณเล็กน้อย เพื่อช่วยเสริมการย่อยสลายโมเลกุลต่างๆที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหมักเล็กน้อย มี pH ประมาณ 4.5 สามารถละลายน้ำได้ดี มีแอคติวิตี 28,472 PG/ml (1 PG (Polygalacturonase unit) หมายถึงปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ความหนืดของสารละลายกรดเพกทิกลดลง 50% ที่อุณหภูมิ 20 °C pH 3.5 ในเวลา 30 นาที) หรือ 5.524 Unit/ml (เอนไซม์ 1 Unit จะสามารถย่อยสลาย Polygalacturonic acid ให้ได้ Galacturonic acid 1.0 μmole/min ที่อุณหภูมิ 25°C pH 4.0)

ง.2 เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า Sigma P4300®

Sigma P4300® เตรียมจาก *Rhizopus sp.* สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว ประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนส มีลักษณะเป็นผงแป้งสีขาว ไม่มีกลิ่น สามารถละลายน้ำได้ มีแอคติวิตี 448 Unit/g solid (เอนไซม์ 1 Unit จะสามารถย่อยสลาย Polygalacturonic acid ให้ได้ Galacturonic acid 1.0 μmole/min ที่อุณหภูมิ 25°C pH 4.0)

เนื่องจาก Sigma P4300® ที่จำหน่ายทางการค้าจะอยู่ในรูปผงแป้ง ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมให้อยู่ในรูปของเหลวก่อนนำมาใช้งาน โดยนำ Sigma P4300® ปริมาณ 250 mg ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 20 ml ก่อนนำมาใช้งาน ซึ่งจะมีแอคติวิตี 5.60 Unit/ml

ง.3 เอนไซม์แอมิโรกลูโคซิเดสทางการค้า AMG 300 L®

AMG 300 L® เตรียมจาก *Aspergillus niger* สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหมักเล็กน้อย มีแอคติวิตี 324 Unit/mL

ง.4 เอนไซม์โปรติเอสทางการค้า Alcalase 2.4 L®

Alcalase 2.4 L® เตรียมจาก *Bacillus licheniformis* สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหมักเล็กน้อย มีแอคติวิตี 2.4 Anson Units/g

ง.5 เอนไซม์แอมิเลสทางการค้า Fungamyl® 800L

Fungamyl® 800L เตรียมจาก *Aspergillus oryzae* สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล และมีกลิ่นหมักเล็กน้อย มีแอคติวิตี 0.8 Unit/g

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอกทิวิตีรวมในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อกล้วยหอมโดยวิธี DPPH

Source of variance	df	MS
Ripening stages	2	0.577*
Error	6	0.000

ตารางที่ ฉ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอกทิวิตีรวมในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อกล้วยหอมโดยวิธี ABTS

Source of variance	df	MS
Ripening stages	2	87.963*
Error	6	0.001

ตารางที่ ฉ.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของเนื้อกล้วยหอม

Source of variance	df	MS				
		L*	a*	b*	C	h
Ripening stages	2	359.640*	0.271*	62.302*	62.477*	0.394*
Error	6	0.694	0.028	3.067	3.07	0.073

ตารางที่ ฉ.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น (Moisture) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (TA) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของเนื้อกล้วยหอม

Source of variance	df	MS					
		Moisture	pH	TA	TSS	RS	TDF
Ripening stages	2	7.742*	0.725*	1.854*	15.018*	4737.164*	0.414
Error	6	0.035	0.009	0.012	0.401	3.458	0.197

ตารางที่ ฉ.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของเซลล์แบคที่เรียที่เพิ่มขึ้นในระหว่างเวลา 0 ถึง 24 ชั่วโมง ในอาหารที่มีกลูโคส และในอาหารที่มีกล้วยหอมสุกระยะต่างๆเป็นองค์ประกอบ

Source of variance	df	MS
Bacterial culture (A)	3	2.207*
Media (B)	2	2.161*
AxB	6	0.180*
Error	24	0.003

ตารางที่ ฉ.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของเนื้อกล้วยหอม

	Source of variance	Ripening stages	Panelist	Error
	df	2	19	154
MS	สี	44.394*	2.499*	1.373
	ความสม่ำเสมอของสี	91.442*	2.247*	0.681
	กลิ่นรสกล้วยหอม	22.502*	1.188	1.610
	กลิ่นรสแปลกปลอม	56.720*	1.713*	0.808
	รสชาติ	4.699*	1.228	1.152
	ความชอบรวม	74.804*	0.670	0.636

ตารางที่ ฉ.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่างเฉลี่ย (L_{av}*) ของเนื้อกล้วยหอมบดที่เตรียมโดยภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS
ระยะเวลาการให้ความร้อน (A)	2	6564.318*
ชนิดสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (B)	1	22.168*
ปริมาณสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (C)	7	235.125*
AxB	2	4.822
AxC	14	31.323*
BxC	7	4.888*
AxBxC	14	7.891*
Error	102	1.789

ตารางที่ ฉ.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลืองเฉลี่ย (b_{av}*) ของเนื้อกล้วยหอมบดที่เตรียมโดยภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS
ระยะเวลาการให้ความร้อน (A)	2	1615.919*
ชนิดสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (B)	1	55.614*
ปริมาณสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (C)	7	81.218*
AxB	2	1.259
AxC	14	3.104*
BxC	7	0.765
AxBxC	14	2.167
Error	102	1.508

ตารางที่ ฉ.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ของไซรัปกล้วยหอมในขนมถ้วยฟู

Source of variance	df	MS
ชนิดเอนไซม์ (A)	1	19.749*
ปริมาณเอนไซม์ (B)	2	1.170*
ระยะเวลา (C)	7	12.916*
AxB	2	0.161
AxC	7	1.012*
BxC	14	0.186*
AxBxC	14	0.310*
Error	624	0.065

ตารางที่ ฉ.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นกล้วยหอม ของไซรัปกล้วยหอมในขนมถ้วยฟู

Source of variance	df	MS
ชนิดเอนไซม์ (A)	1	0.509*
ปริมาณเอนไซม์ (B)	2	0.527*
ระยะเวลา (C)	7	25.902*
AxB	2	0.304*
AxC	7	0.257*
BxC	14	0.287*
AxBxC	14	0.270*
Error	624	0.061

ตารางที่ ฉ.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของไซรัปกล้วยหอมในขนมถ้วยฟู

Source of variance	df	MS
ชนิดเอนไซม์ (A)	1	9.691*
ปริมาณเอนไซม์ (B)	2	0.290*
ระยะเวลา (C)	7	7.919*
AxB	2	0.137
AxC	7	0.944*
BxC	14	0.220*
AxBxC	14	0.205*
Error	624	0.046

ตารางที่ ฉ.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสแปลกปลอมของไซรัปกล้วยหอมในขนมถ้วยฟู

Source of variance	df	MS
ชนิดเอนไซม์ (A)	1	0.081*
ปริมาณเอนไซม์ (B)	2	0.104*
ระยะเวลา (C)	7	0.010
AxB	2	0.042
AxC	7	0.004
BxC	14	0.011
AxBxC	14	0.015
Error	624	0.015

ตารางที่ ฉ.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรัปกล้วยหอม

Source of variance	df	MS
ชนิดเอนไซม์ (A)	1	3.674*
ปริมาณเอนไซม์ (B)	2	8.263*
ระยะเวลา (C)	9	5.641*
AxB	2	4.388*
AxC	9	0.661*
BxC	18	0.341*
AxBxC	18	0.236*
Error	120	0.003

ตารางที่ ฉ.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของเซลล์แบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นในระหว่างเวลา 0 ถึง 24 ชั่วโมง ในอาหารที่มีกลูโคส และในอาหารที่มีไซรัปกล้วยหอมเป็นองค์ประกอบ

Source of variance	df	MS
Bacterial culture (A)	2	1.428*
Media (B)	2	2.759*
AxB	4	0.234*
Error	18	0.002

ตารางที่ ฉ.15 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

ระยะ	TSS (°Brix)					
เวลา	Pectinex Ultra SP-L®			Sigma P4300®		
(h)	0.50%	1.00%	1.50%	0.50%	1.00%	1.50%
0	16.5±0.1	16.6±0.1	16.6±0.0	16.2±0.0	16.2±0.0	16.2±0.0
0.5	16.5±0.1	16.7±0.1	17.0±0.1	16.3±0.1	16.7±0.1	16.9±0.0
1	17.0±0.1	16.9±0.1	17.1±0.0	16.7±0.1	16.7±0.1	17.1±0.1
1.5	17.0±0.1	17.1±0.0	17.2±0.1	17.1±0.1	17.2±0.1	17.5±0.1
2	17.1±0.1	17.1±0.1	17.2±0.0	17.3±0.1	17.3±0.0	18.2±0.0
4	17.2±0.0	17.3±0.1	17.3±0.1	17.4±0.0	17.3±0.1	19.2±0.1
8	17.3±0.1	17.6±0.0	17.7±0.0	17.4±0.1	17.4±0.1	19.2±0.1
12	17.6±0.1	17.9±0.1	18.1±0.1	17.4±0.1	18.0±0.1	19.2±0.1

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ฉ.16 ขนาดอนุภาคของไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

ระยะ	ขนาดอนุภาค (μm)					
เวลาการบ่ม	Pectinex Ultra SP-L®			Sigma P4300®		
(h)	0.50%	1.00%	1.50%	0.50%	1.00%	1.50%
0	130.293±5.494	130.293±5.494	130.293±5.494	130.293±5.494	130.293±5.494	130.293±5.494
0.5	118.521±4.238	113.746±1.860	110.200±1.639	120.273±0.945	114.983±1.916	113.360±1.120
1	112.745±1.466	107.575±2.296	105.194±0.723	113.806±1.603	116.049±2.190	114.871±1.808
1.5	111.249±2.313	107.914±2.296	104.223±1.046	113.696±1.345	115.084±1.537	113.618±0.797
2	107.131±1.618	108.096±0.974	100.051±0.383	114.016±1.987	114.660±0.813	112.457±0.720
4	106.821±1.636	104.985±2.558	98.600±0.733	109.856±3.014	114.609±0.897	112.295±0.662
6	105.113±0.829	105.386±1.656	98.607±4.395	108.083±1.393	112.912±0.931	107.872±0.197
8	105.731±1.530	104.992±2.596	97.508±4.993	107.948±1.547	107.603±0.759	107.414±0.439
10	104.478±1.479	106.480±1.457	98.892±4.144	106.828±0.900	108.479±0.394	107.678±1.255
12	103.437±0.601	101.724±1.994	96.304±1.731	106.393±1.651	106.482±0.467	104.589±0.619

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ฉ.17 ค่า Filterability ของไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

ระยะเวลา (h)	Filterability (%)					
	Pectinex Ultra SP-L®			Sigma P4300®		
	0.50%	1.00%	1.50%	0.50%	1.00%	1.50%
0.5	88.69±0.65	90.35±0.26	95.91±0.74	72.01±0.70	77.82±0.46	79.96±0.42
1.0	87.84±0.28	96.50±0.41	96.28±0.35	74.01±0.14	80.65±0.60	82.72±0.91
1.5	94.17±0.48	97.14±0.12	96.36±0.44	74.61±0.46	81.89±0.47	85.22±0.72
2.0	96.80±0.82	97.48±0.19	96.94±0.16	75.65±0.35	84.26±0.76	86.47±0.80
4.0	96.55±0.43	97.43±0.58	97.29±0.18	76.74±0.76	85.47±0.58	89.45±0.44
6.0	97.63±0.55	97.62±0.22	97.42±0.40	78.27±0.34	87.36±0.65	90.64±0.89
8.0	97.38±0.27	97.73±0.14	97.42±0.37	79.11±0.70	89.51±0.38	93.01±0.40
10.0	97.56±0.48	97.59±0.32	97.40±0.24	81.54±0.44	91.05±0.67	94.03±0.15
12.0	97.55±0.19	97.67±0.18	98.73±0.15	83.63±0.44	93.24±0.35	94.21±0.63

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ฉ.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ของขนมถ้วยฟูสูตรต่างๆ

Source of variance	df	MS
Formular (A)	4	33.722*
Panelist (B)	19	5.049*
AxB	76	0.484*
Error	100	0.290

ตารางที่ ฉ.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นกล้วยหอม ของขนมถ้วยฟูสูตรต่างๆ

Source of variance	df	MS
Formular (A)	4	64.219*
Panelist (B)	19	1.813*
AxB	76	0.900*
Error	100	0.474

ตารางที่ ฉ.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสแปลกปลอมของขนมถ้วยฟูสูตรต่างๆ

Source of variance	df	MS
Formular (A)	4	0.454*
Panelist (B)	19	0.292*
AxB	76	0.254*
Error	100	0.020

ตารางที่ ฉ.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความแน่นเนื้อของขนมถ้วยฟูสูตรต่างๆ

Source of variance	df	MS
Formular (A)	4	44.516*
Panelist (B)	19	1.651*
AxB	76	1.538*
Error	100	0.286

ตารางที่ ฉ.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความฉ่ำน้ำของขนมถ้วยฟูสูตรต่างๆ

Source of variance	df	MS
Formular (A)	4	53.113*
Panelist (B)	19	2.405*
AxB	76	0.855*
Error	100	0.259

ตารางที่ ฉ.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมของขนมถ้วยฟูสูตรต่างๆ

Source of variance	df	MS
Formular (A)	4	52.507*
Panelist (B)	19	3.064*
AxB	76	0.881*
Error	100	0.257

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสมฤดี ไทพาณิชย์ เกิดวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2525 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง จากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2547 และได้ศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548