

69

การผลิตหัวน้ำเชื้อกล้วยหอม (*Musa sp.* Gros Michel) โดยเพคตินเนส
เซลลูเลส และ อะมัยเลสตรังรูป



อรุณี เพียรทวีรัชต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-170-5

I 21709890

ก.ร. 2536

PRODUCTION OF BANANA (Musa sp. Gros Michel) SYRUP BY IMMOBILIZED
PECTINASES, CELLULASES AND AMYLASES.



Arune Pheantaveerat

A Thesis Submitted in Partial fulfillment of the Requirement

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate School

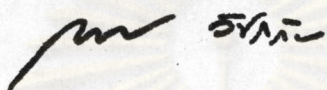
Chulalongkorn University

1993

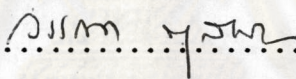
ISBN 974-582-170-5

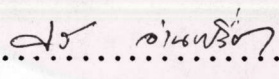
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตหัวน้ำเชื้อกล้วยหอม (*Musa sp.* Gros Michel) โดยเพศดีเนส
เซลล์ และอะมัยเลสตรังรูป
โดย นางสาวอรุณี เพียรทวีรัชต์
ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเป็รื่อง

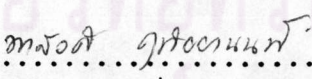
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

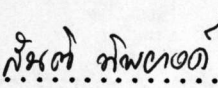

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. อวาร วัชรราชย์)

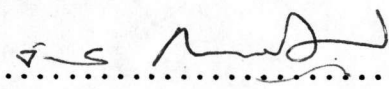
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรณ ตูลยชัย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเป็รื่อง)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พาสวดี ฤทัยานนท์)

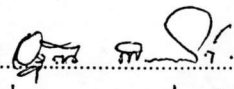
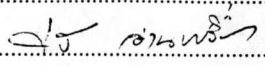

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สันติ ทิพยางค์)


..... กรรมการ
(คุณ จักรพงษ์ กาญจนปัญญาคม)

อรุณี เพียรทวีรัชต์ : การผลิตหัวน้ำเชื่อมกล้วยหอม (*Musa sp.* Gros Michel) โดยเพคตินเอส เซลลูเลส และอะมัยเลสตรึงรูป [PRODUCTION OF BANANA (*Musa sp.* Gros Michel) SYRUP BY IMMOBILIZED PECTINASES, CELLULASES AND AMYLASES.] อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปราณี อานเป็รื่อง, 222 หน้า.
ISBN 974-582-170-5

ในการศึกษาการประยุกต์ใช้เพคตินเอส (Pectinex Ultra SP-L) เซลลูเลส (Celluclast 1.5L) และอะมัยเลส (Ban 240L) ทางการค้าสำหรับการสกัดหัวน้ำเชื่อมกล้วยจากกล้วยสุกระดับ 7-8 พบว่า หลังจากบ่มกล้วยบดด้วยเซลลูเลสเข้มข้นร้อยละ 0.06 และเพคตินเอสเข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยปริมาตร/น้ำหนักกล้วยหอมบด ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วตามด้วยการกรอง จะได้หัวน้ำเชื่อมกล้วยที่มีลักษณะใส กลิ่น รส ดี ปริมาณผลผลิตเป็นร้อยละ 73 ของน้ำหนักกล้วยบด ส่วนอะมัยเลส นั้นไม่มีผลในการผลิตหัวน้ำเชื่อมกล้วย นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการเตรียมเอนไซม์ ทั้ง 3 ชนิด ตรึงรูปบนผ้า ไนลอนด้วยวิธีการเชื่อมพันธะโควาเลนต์ และการทดสอบการผลิตหัวน้ำเชื่อมกล้วยจากกล้วยหอมบด ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนในลักษณะการผลิตไม่ต่อเนื่อง ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเอนไซม์แต่ละชนิดตรึงรูปบนผ้า ไนลอนชนิด 6 ขนาด 2.5 ซม. x 2.5 ซม. นั้น รายงานจากภาวะการทดลองที่ให้เอนไซม์มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาจากตัวแปร คือ ระดับความเข้มข้นและ pH ของ ตัวกระตุ้นตัวพวง (APTS) สารเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล (กลูตารัลดีไฮด์) และเอนไซม์แต่ละชนิด เพคตินเอสตรึงรูปที่เตรียมได้มีแอกติวิตีสูงสุดที่ 45 °C และ pH 3.5 ส่วนเพคตินเอสอิสระแสดงที่ 40 °C และ pH 4.5 แต่ทั้งเซลลูเลสอิสระและตรึงรูป แสดงแอกติวิตีสูงสุดที่ 60 °C และ pH 5 ค่าคงที่ไมคิสิส (K_m) ของเพคตินเอสตรึงรูปมีค่าร้อยละ 0.78 โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่ากรณีของเพคตินเอสอิสระ 1.4 เท่า ส่วนค่า K_m ของเซลลูเลสตรึงรูปมีค่าร้อยละ 0.99 โดยน้ำหนัก ซึ่งสูงกว่ากรณีของเซลลูเลสอิสระ 5.33 เท่า ในการผลิตหัวน้ำเชื่อมกล้วย ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบถังกวนในระบบไม่ต่อเนื่อง พบว่าจะให้ผลผลิตร้อยละ 70 ของน้ำหนักกล้วยบด หลังจากบ่มกล้วยบดที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 2 ชม. ด้วยเพคตินเอสตรึงรูป ปริมาณ 60 แผ่น (แอกติวิตี 1.25×10^{-2} ยูนิต/แผ่น) และเซลลูเลสตรึงรูปปริมาณ 20 แผ่น (แอกติวิตี 1.41 ยูนิต/แผ่น) ค่าแอกติวิตีจำเพาะของเพคตินเอสตรึงรูป และเซลลูเลสตรึงรูปมีค่าร้อยละ 71.21 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 86.95 โดยน้ำหนักตามลำดับ สำหรับด้านการสลายของแอกติวิตีของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ พบว่าหลังจากใช้เครื่องปฏิกรณ์ซ้ำ 2 ครั้ง เครื่องปฏิกรณ์มีแอกติวิตีเหลือร้อยละ 50 และหลังจากใช้ไป 4 ครั้ง แอกติวิตีของเครื่องปฏิกรณ์ค่อนข้างจะเสถียร หัวน้ำเชื่อมกล้วยที่ได้มีรสชาติ กลิ่น ที่ดีมีการยอมรับสูง และให้ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นสารเสริมกลิ่นรสกล้วยในผลิตภัณฑ์อาหาร

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิติ 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C326566 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : BANANA SYRUP/ IMMOBILIZED/ PECTINASES/ CELLULASES/ AMYLASES

ARUNEE PHEANTAVEERAT : PRODUCTION OF BANANA (Musa sp. Gros

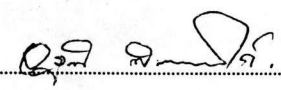
Michel) SYRUP BY IMMOBILIZED PECTINASES, CELLULASES AND AMYLASES.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PRANEE ANPRUNG, Ph.D. 222 pp.

ISBN 974-582-170-5

The application of commercially available Pectinex Ultra SP-L (pectinases), Celluclast 1.5L (cellulases) and Ban 240L (amylases) for extraction of banana syrup from ripe banana (grade 7-8) pulp was studied. Good flavor, aroma and clear banana syrup yield of 73 % (base on pulp weight used) was obtained from pulp incubated at 45 °C for 2 hrs with 0.06 % v/w of cellulases and 0.05 % v/w of pectinases by subsequent filtration. Amylases was not effective to the production of banana syrup. Furthermore, the three immobilized commercial enzymes on nylon by covalent binding method were prepared and tested on pulps using stir-tank reactor for batch production of syrup. Optimal conditions for immobilization of each enzyme on 2.5 cm. x 2.5 cm. of nylon 6 with respect to concentrations and pH levels of carrier activator (APTS), of intermolecular cross-linker (glutaraldehyde), and of each enzyme were reported for the most effective preparation. Maximum enzymic activity was at 45 °C, pH 3.5 for the prepared immobilized pectinases (IP) and at 40 °C, pH 4.5 for the soluble form. But both soluble and immobilized cellulases (IC) showed maximum activity at 60 °C, pH 5. The Michaelis constant (K_m) of IP was 0.78 % w/w which was 1.4 times lower than that of the soluble form. Moreover, K_m of IC was 0.99 % w/w which was 5.33 times higher than that of the soluble enzyme. The maximum batch production of banana syrup yield of using stir-tank reactor was achieved from pulp incubated at 45 °C for 2 hrs with of 60 pieces of IP (1.25×10^{-2} unit/piece) and 20 pieces of IC (1.41 unit/piece). The specific of IP and IC were 71.21 % w/w and 86.95 % w/w, respectively. For the decay of bioreactor activity, the retained activity of bioreactor was found to be 50 % after using the same bioreactor 2 times but the bioreactor activity became rather stable after 4 times use. The syrup had an excellent acceptable flavor and aroma and provided a possible use for banana flavor enhancer in food products.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ลายมือชื่อนิสิต..... 

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ปราณี อ่านเป็รื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้ารอดพ้นจากภัยที่ปรึกษาชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหา ทั้งทางด้านวิชาการและปฏิบัติการ คอยผลักดันให้ข้าพเจ้ามีความมุ่งมั่นพยายามในการทำวิจัยจนสำเร็จ และส่งเสริมให้ข้าพเจ้ามีส่วนร่วมในการเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการต่าง ๆ อีกทั้งช่วยดูแล พร้อมทั้งให้ยืมเอกสารประกอบเพื่อเสริมความรู้ จนเป็นผลสำเร็จงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม Response Surface Method ทำให้เกิดแนวคิดในการนำมาใช้งานวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดา ตุลยชัย ประธานกรรมการ

ขอขอบพระคุณ ดร.พาสวดี ฤทัยยานนท์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม Response Surface Method และกรุณาให้ยืมเอกสารเสริมความรู้ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ดร. สันติ ทิพย์ยางค์ แห่งสถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร และคุณจักรพงษ์ กาญจนปัญญาคม แห่งบริษัทเทคโนโลยีคอลคอนซัลแตนท์ (ประเทศไทย) จำกัด กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ประพันธ์ ปินศิริโรตม ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อควรระวังบางประการสำหรับการเตรียมรูปบนในลอนที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท อีสต์เอเซียติก (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ เอนไซม์ เพคตินเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ตลอดจนงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่อง ostwald viscometer

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้เงินอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัย รวมทั้ง เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุก ๆ ท่านที่อำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการที่อำนวยความสะดวก ในการใช้ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือ และขอขอบคุณคุณศราภรณ์ มหาโยธี คุณกมลทิพย์ คำสินีล คุณวิภาดา สุภจรรยา และคุณเอกชัย เอกชัยไพฑูรย์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดทำรายงานและรูปเล่มเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบเท้าขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ เอาใจใส่ และคอยเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งสำหรับผู้เขียน อีกทั้งยังให้การสนับสนุนและส่งเสริมให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์	
2.1 กลัวยหอม.....	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของพอลิแซคคาไรด์ในเซลล์พืช.....	15
2.3 เอนไซม์ย่อยสลายพอลิแซคคาไรด์.....	24
2.4 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำผลไม้.....	35
2.5 การตรึงรูปเอนไซม์.....	53
2.6 การตรึงรูปเพคตินเนส และ เซลลูเลสบนตัวพุงต่าง ๆ	55
2.7 การตรึงรูปเอนไซม์บนตัวพุงประเภทในลอน.....	59
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์.....	69
3.2 วัสดุและสารเคมี.....	70
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	83
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การสกัดหัวน้ำเชื้อกลัวยหอมโดยใช้เพคตินเนส เซลลูเลส และ อะมัยเลสอิสระ.....	93
4.1.1 ความเข้มข้นของเพคตินเนส เซลลูเลส และอุณหภูมิที่ เหมาะสม.....	93

4.1.2	ระยะเวลาในการทำงานปฏิกิริยาย่อยสลายกล้วยหอมบดที่ เหมาะสม.....	111
4.1.3	ผลของการใช้อะมัยเลสในการสกัดหัวน้ำเชื่อมกล้วยหอม.....	114
4.2	ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตรึงรูปเพคตินาส์ เซลลูเลส และ อะมัยเลสบนผ้าในลอน	
4.2.1	ความเข้มข้น และ pH ของสารละลาย APTS ที่ใช้ กระตุ้นผ้าในลอนที่เหมาะสม สำหรับการตรึงรูปเอนไซม์.....	118
4.2.2	กำหนดความเข้มข้น และ pH ของสารละลายกลูตา- -รัลดีไฮด์ที่เหมาะสมสำหรับการตรึงรูปเอนไซม์.....	124
4.2.3	ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เหมาะสมสำหรับการตรึงรูป.....	134
4.3	ศึกษาโครงสร้างของเพคตินาส์ เซลลูเลส และ อะมัยเลสตรึงรูป บนผ้าในลอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน.....	137
4.4	ศึกษาสมบัติบางประการทางจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ตรึงรูป เปรียบเทียบกับเอนไซม์อิสระ	
4.4.1	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานปฏิกิริยาของเอนไซม์.....	140
4.4.2	pH ที่เหมาะสมในการทำงานปฏิกิริยาของเอนไซม์.....	146
4.4.3	ค่าคงที่ Michaelis-Menten (K_m) ของเอนไซม์.....	152
4.5	การสกัดหัวน้ำเชื่อมกล้วยหอมโดยใช้เพคตินาส์ เซลลูเลส และ อะมัยเลสตรึงรูปในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนในระบบไม่ต่อเนื่อง.....	157
4.6	เปรียบเทียบสมบัติทางประสาธสัมพันธ์ระหว่างหัวน้ำเชื่อม- กล้วยหอมที่สกัดได้โดยอาศัยเอนไซม์อิสระ และเอนไซม์ตรึงรูป.....	167
5.	สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	170
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	174

เอกสารอ้างอิง.....	178
ภาคผนวก.....	187
ประวัติผู้เขียน.....	222



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ผลผลิตกล้วยหอมจากภาคต่างๆ ของประเทศไทย และผลผลิตโดยรวม ในช่วงปี 2531-2534.....	3
2.1	ปริมาณของแป้งและน้ำตาลของกล้วยดิบและกล้วยสุกพันธุ์ Musa sp ที่ ความสุกระดับเดียวกัน ที่วิเคราะห์ได้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ.....	11
2.2	ลักษณะของอะมิยโรส และอะมิยโรลเพคติน.....	24
2.3	บทบาทของเอนไซม์ที่ย่อยสลายพอลิแซคคาไรด์ในผนังเซลล์พืช.....	41-42
4.1	ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อกล้วยหอมบดเมื่อใช้ความเข้มข้น เพคตินเอส และเซลลูโลสที่ระดับต่างๆ และปมที่อุณหภูมิต่างๆ กัน.....	94
4.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าร้อยละการลดความหนืดของกล้วยหอมบด เมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคตินเอส และเซลลูโลสที่ระดับต่างๆ และปม ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน.....	96
4.3	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของการลดความหนืดของกล้วยหอมบดเมื่อ ใช้ความเข้มข้นของเพคตินเอส และเซลลูโลสที่ระดับต่างๆ และปมที่อุณหภูมิ ต่างๆ กัน โดยวิธี Duncan's new multiple range test.....	97
4.4	ค่าร้อยละของการลดความหนืดของกล้วยหอมบดที่ได้จากการทดลองจริง เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ.....	99
4.5	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของเพคตินเอสตรังรูปเมื่อกระตุ้นผ้าในลอนด้วยสารละลาย APTS ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่างๆ.....	118
4.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของเพคตินเอสตรังรูปเมื่อกระตุ้น ผ้าในลอนด้วยสารละลาย APTS ที่มี pH และความเข้มข้นต่างๆ.....	119
4.7	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของเพคตินเอสตรังรูปเมื่อกระตุ้นผ้าในลอน ด้วยสารละลาย APTS ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่างๆ โดยวิธี Duncan's new multiple range test.....	120

- 4.8 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของเซลลูเลสตรังรูปเมื่อกระตุ้นผ้าในลอนด้วยสารละลาย APTS ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ121
- 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของเซลลูเลสตรังรูป เมื่อกระตุ้น ผ้าในลอนด้วยสารละลาย APTS ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ122
- 4.10 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของอะมัยเลสตรังรูปเมื่อกระตุ้นผ้าในลอนด้วยสารละลาย APTS ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ123
- 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของอะมัยเลสตรังรูป เมื่อกระตุ้น ผ้าในลอนด้วยสารละลาย APTS ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ124
- 4.12 แอกติวิตีของเพคตินีสตรังรูปบนผ้าในลอนเมื่อใช้สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ125
- 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของเพคตินีสตรังรูป เมื่อกระตุ้น ผ้าในลอนด้วยสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นและ pH ต่าง ๆ126
- 4.14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของเพคตินีสตรังรูปเมื่อกระตุ้นผ้าในลอน ด้วยสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ที่ pH ต่างๆ โดยวิธี Duncan's new multiple range test.....127
- 4.15 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของเซลลูเลสตรังรูปบนผ้าในลอนเมื่อใช้สารละลาย กลูตารัลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่างๆ.....128
- 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของเซลลูเลสตรังรูป เมื่อกระตุ้น ผ้าในลอนด้วยสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ ...129
- 4.17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของเซลลูเลสตรังรูปเมื่อกระตุ้นผ้าในลอน ด้วยสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ ที่ pH ต่างๆ โดยวิธี Duncan's new multiple range test.....130
- 4.18 แอกติวิตีของอะมัยเลสตรังรูปบนผ้าในลอนเมื่อใช้สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ131
- 4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของอะมัยเลสตรังรูป เมื่อกระตุ้น ผ้าในลอนด้วยสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้น และ pH ต่าง ๆ ..132

4.20	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของอะมีบเลสตรังรูป เมื่อกระตุ้นฟ้าในลอน ด้วยสารละลายกลูตาไรลดีไฮด์ที่ pH ต่างๆ โดยวิธี Duncan's new multiple range test.....	133
4.21	ร้อยละแอกติวิตีสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของเพคตินเอสอีสและเพคตินเอสตรังรูป.....	141
4.22	แอกติวิตีสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของเซลลูเลสอีสและตรังรูป.....	144
4.23	ร้อยละแอกติวิตีสัมพัทธ์ที่ pH ต่างๆ ของเพคตินเอสอีสและเพคตินเอสตรังรูป.....	147
4.24	ร้อยละแอกติวิตีสัมพัทธ์ที่ pH ต่างๆ ของเซลลูเลสอีสและเซลลูเลสตรังรูป.....	150
4.25	ค่า K_m ของเพคตินเอสอีสและเพคตินเอสตรังรูปที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส pH 3.5 จากการเขียนกราฟแบบ Lineweaver Burk plot.....	153
4.26	ค่า K_m ของเซลลูเลสอีสและเซลลูเลสตรังรูป ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส plots จากการเขียนกราฟแบบ Lineweaver Burk plot....	155
4.27	แอกติวิตีของเพคตินเอสตรังรูปในปริมาณต่างๆ ต่อการสกัดหัวน้ำเชื้อกล้วยหอมเมื่อใช้ร่วมกับเซลลูเลสอีสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 โดยน้ำหนัก.....	157
4.28	แอกติวิตีของเซลลูเลสตรังรูป ในปริมาณต่างๆ ต่อการสกัดหัวน้ำเชื้อจากกล้วยหอม เมื่อใช้ร่วมกับเพคตินเอสอีสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก.....	159
4.29	ปริมาณโปรตีนของเพคตินเอสตรังรูป และเพคตินเอสอีสที่ใช้ในการสกัดหัวน้ำเชื้อกล้วยหอมต่อกล้วย 100 กรัม.....	160
4.30	ปริมาณโปรตีนของเซลลูเลสตรังรูป และเซลลูเลสอีสที่ใช้ในการสกัดหัวน้ำเชื้อกล้วยหอมต่อกล้วย 100 กรัม.....	160

4.31	เปรียบเทียบแอกติวิตีจำเพาะและแอกติวิตีสัมพัทธ์ระหว่างเพคตินเอสเอร์และเพคตินเอสตรังรูป.....	161
4.32	เปรียบเทียบแอกติวิตีจำเพาะและแอกติวิตีสัมพัทธ์ระหว่างเซลลูเลสเอร์และเซลลูเลสตรังรูป.....	162
4.33	ประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการทำงานปฏิกิริยาของเพคตินเอสและเซลลูเลสตรังรูปในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน.....	164
4.34	คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระหว่างน้ำกล้วยพร้อมดื่มซึ่งเตรียมได้จากการสกัดโดยอาศัยเอนไซม์เอร์และเอนไซม์ตรังรูป.....	168
5.1	สรุปภาวะที่เหมาะสมในการตรังรูปเพคตินเอส เซลลูเลส และอะมัยเลสบนผ้าในลอน.....	171
5.2	สมบัติทางด้านจลนพลศาสตร์ของเพคตินเอส และเซลลูเลสตรังรูปเทียบกับเพคตินเอส และเซลลูเลสเอร์.....	172
ก-7.1	วิธีเตรียมโซเดียมอะซิเตด-กรดอะซิติกบัฟเฟอร์ pH 3.7-5.6.....	205
ก-7.2	วิธีเตรียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5.8-8.0.....	206
ก-7.3	วิธีเตรียมบอเรตบัฟเฟอร์ pH 8.1-9.1.....	207
ก-7.4	วิธีเตรียมซีเตรตบัฟเฟอร์ pH 3.0-6.2.....	208
ข-1	การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Completely Randomized Design (CRD)...	216
ข-2	การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD).....	216
ข-3	การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Factorial Complete Randomized Design..	217
ข-4	การคิดค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลแบบแพคตอเรียล.....	218

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะการสลายของแป้งในกล้วยระหว่างกระบวนการสุก.....9
2.2	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างกระบวนการสุกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน : เม็ดแป้งของกล้วยดิบ ที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 18.4 (1) และเม็ดแป้งของกล้วยสุกที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 3.2 (2).....9
2.3	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดแป้งของกล้วย : เม็ดแป้งของกล้วยดิบ (1) และเม็ดแป้งของกล้วยสุก (2).....10
2.4	การพัฒนาของสาราหักลิ้นในกล้วยพันธุ์ Gros Michel ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยอัตราการหายใจสูงสุดเกิดภายหลังการเก็บ 5 วัน.....14
2.5	ลักษณะทั่วไปของเซลล์พาราเรโนไมมาของเซลล์พืชในผักและผลไม้.....16
2.6	โครงสร้างปฐมภูมิของสารประกอบเพคติน (1) แรมโนกาแลคทูโรแนน (2) อะราบิโนกาแลคแนน I (3) อะราบิโนการแลกแทน II (4) อะราบิแนน17
2.7	(1) โครงสร้างของกรดเพคติก (2) โครงสร้างของกรดเพคตินิก.....19
2.8	พันธะไฮโดรเจนในเซลลูโลส โดยกลูโคส แต่ละหน่วยจะเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเซลลูโลส 2 พันธะคือ 03-H 05' และ 06-H 02' และพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายเซลลูโลสโมเลกุลคือ 06-H 03'21
2.9	แผนภาพจำลองบริเวณ crystalline และ amorphous ในโมเลกุลของเซลลูโลส21
2.10	ลำดับการรวมกลุ่มและโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืช.....22
2.11	โครงสร้างของโมเลกุลอะมัยโลส.....23
2.12	โครงสร้างของโมเลกุลอะมัยโลเพคติน.....23
2.13	ปฏิกิริยาการย่อยสลายของเพคตินเอสเซอร์เรส.....25

2.14	ปฏิกิริยาการย่อยสลายของพอลีกลาแลคทูลินเนส.....	26
2.15	ปฏิกิริยาการย่อยสลายของเพคเตทาลิเอส.....	28
2.16	การทำงานของเซลลูเลสตามสมมติฐานของ Reese และคณะ.....	30
2.17	การทำงานของเซลลูเลสตามสมมติฐานของ Cowling.....	31
2.18	ผลผลิตการย่อยสลายแป้งด้วยอะมัยเลสทั้ง 3 ชนิด.....	34
2.19	ขั้นตอนทั่วไปของการผลิตน้ำผลไม้ที่มีลักษณะปรากฏใส.....	37-38
2.20	ความเกี่ยวข้องของสารประกอบเพคติกและสารประกอบอื่นๆ ในผนังเซลล์พืช.....	40
2.21	ผลของประจุไฟฟ้าสถิตของสารประกอบเชิงซ้อนโปรตีนและเพคติน และอนุภาคสารแขวนลอยอื่นๆ ต่อการตกตะกอนหลังจากย่อยสลายเพคติน ด้วยเพคตินเนส.....	51-52
2.22	กระบวนการทำเอนไซม์ตรึงรูป.....	54
2.23	ปฏิกิริยาการตรึงรูปเอนไซม์บนเอนไซม์ในลอนด้วยวิธี การสลายพันธะเอไมด์บางส่วน.....	60
2.24	ปฏิกิริยาการตรึงรูปเอนไซม์บนเอนไซม์ในลอนโดยวิธี O-alkylation.....	61
2.25	ขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิไอโซไซโทเรต.....	62
2.26	แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการทำน้ำแอปปริคอตให้ใส.....	64
2.27	กลไกการตรึงรูป เพคตินเนสบนเอนไซม์ในลอน โดยอาศัยปฏิกิริยา O-alkylation.....	65
2.28	การคาดคะเนโครงสร้างของการตรึงรูประหว่างเอนไซม์กับตัวพุงประเภท ในลอน.....	68
3.1	ลักษณะของกล้วยหอมที่ความสุกระดับ 7-8.....	71
3.2	ขั้นตอนในการสกัดหัวน้ำเชื่อมกล้วยหอม.....	72
3.3	ผ้าในลอนที่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	76
3.4	แผนภูมิขั้นตอนการเตรียมเอนไซม์ตรึงรูปบนเอนไซม์ แบบเชื่อมด้วยพันธะโคเวเลนต์.....	79
3.5	มอเตอร์หมุนพร้อมใบพัด.....	80
3.6	หม้อแปลงไฟฟ้า.....	80
3.7	อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ.....	80

- 3.8 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์เอนไซม์ตรีงรูปแบบถึงกวนในระบบการผลิตไม่ต่อเนื่องพร้อมชุดอุปกรณ์.....81
- 3.9 ระบบเครื่องปฏิกรณ์เอนไซม์ตรีงรูปแบบถึงกวนในระบบการผลิตไม่ต่อเนื่อง...81
- 3.10 เครื่อง Scanning Electron Microscope.....84
- 3.11 ตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบทอง.....87
- 4.1 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2) ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้องกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสในระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคตินเอสคิงที่ร้อยละ 0.02 โดยปริมาตร/น้ำหนักกล้วยหอมบด.....102
- 4.2 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2) ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้องกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสในระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคตินเอสคิงที่ร้อยละ 0.05 โดยปริมาตร/น้ำหนักกล้วยหอมบด.....103
- 4.3 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot(2) ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้องกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสในระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคตินเอสคิงที่ร้อยละ 0.10 โดยปริมาตร/น้ำหนักกล้วยหอมบด.....104
- 4.4 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2) ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้องกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของเพคตินเอสในระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นของเซลลูโลสคิงที่ร้อยละ 0.02 โดยปริมาตร/น้ำหนักกล้วยหอมบด.....105
- 4.5 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2) ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้องกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของเพคตินเอสในระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นเซลลูโลสคิงที่ร้อยละ 0.05 โดยปริมาตร/น้ำหนักกล้วยหอมบด.....106
- 4.6 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2)

- ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของ
 เพคตินในสารระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นของเซลลูโลส
 คงที่ที่ร้อยละ 0.10 โดยปริมาตร/น้ำหนักกล้วยหอมบด.....107
- 4.7 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2)
 ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของ
 เพคติน และ เซลลูโลสในระดับต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อ
 กล้วยหอมบดที่อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส.....108
- 4.8 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2)
 ของค่าร้อยละการลดความหนืดของเนื้อกล้วยหอมบดที่ความเข้มข้นของ
 เพคติน และ เซลลูโลสในระดับต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อ
 กล้วยหอมบดที่อุณหภูมิคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส.....109
- 4.9 ความสัมพันธ์ในลักษณะ Contour plot (1) และ Surface plot (2)
 ลดความหนืดของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ความเข้มข้นของเพคติน และ
 เซลลูโลสในระดับต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมบดที่
 อุณหภูมิคงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส.....110
- 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อกล้วยหอมบดและ
 ผลผลิตหัวน้ำเชื้อกล้วยที่ได้ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ กัน.....112
- 4.11 (ก) กล้วยหอมบดก่อนการเติมเพคตินพร้อมกับเซลลูโลส
 (ข) กล้วยหอมบดหลังจากเติมเพคตินพร้อมกับเซลลูโลส
 (ค) ของเหลวสกัดจากกล้วยหลังจากกรองแล้ว.....113
- 4.12 ค่าความหนืดเฉลี่ยของกล้วยหอมบด และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อ
 กล้วยที่ได้เมื่อเติมอะมัยเลสที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนการเติมเพคติน
 เข้มข้นร้อยละ 0.05 และเซลลูโลสเข้มข้นร้อยละ 0.06 โดยปริมาตร
 ต่อน้ำหนักกล้วยหอมบด.....114
- 4.13 ค่าความหนืดเฉลี่ยของกล้วยหอมบด และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อ
 กล้วยที่ได้เมื่อเติมอะมัยเลสที่ความเข้มข้นต่างๆ หลังจากการเติมเพคติน

	เข้มข้นร้อยละ 0.05 และ เซลลูเลสเข้มข้นร้อยละ 0.06 โดยปริมาตร ต่อน้ำหนักกล้วยหอมบด.....	115
4.14	ค่าความหนืดเฉลี่ยของกล้วยหอมบด และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อ กล้วยที่ได้เมื่อใช้เพคตินเนส เซลลูเลส และอะมัยเลสร่วมกัน.....	116
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของเพคตินเนสตรังรูปกับความเข้มข้นของสาร ละลายเพคตินเนสที่ใช้ในการตรังรูป.....	134
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของเซลลูเลสตรังรูปกับความเข้มข้นของสาร ละลายเซลลูเลสที่ใช้ในการตรังรูป.....	135
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของอะมัยเลสตรังรูปกับความเข้มข้นของสาร ละลายอะมัยเลสที่ใช้ในการตรังรูป.....	135
4.18	โครงสร้างของผ้าในลอนจากเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	137
4.19	โครงสร้างของเพคตินเนสตรังรูปบนผ้าในลอนจากเครื่อง SEM ที่กำลัง ขยาย 2000 เท่า.....	138
4.20	โครงสร้างของเซลลูเลสตรังรูปบนผ้าในลอนจากเครื่อง SEM ที่กำลัง ขยาย 1500 เท่า.....	139
4.21	โครงสร้างของอะมัยเลสตรังรูปบนผ้าในลอนจากเครื่อง SEM ที่กำลัง ขยาย 1500 เท่า.....	140
4.22	ร้อยละแอกติวิตีสัมพันธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของเพคตินเนสอิสระ และเพคติน เนสตรังรูป.....	142
4.23	ร้อยละแอกติวิตีสัมพันธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของเซลลูเลสอิสระและเซลลูเลส เนสตรังรูป.....	145
4.24	ร้อยละแอกติวิตีสัมพันธ์ที่ pH ต่างๆ ของเพคตินเนสอิสระและเพคตินเนสตรังรูป.....	148
4.25	ร้อยละแอกติวิตีสัมพันธ์ที่ pH ต่างๆ ของเซลลูเลสอิสระและเซลลูเลสตรังรูป.....	151
4.26	เปรียบเทียบกราฟแบบ Lineweaver Burk plot ของเพคตินเนสอิสระ และเพคตินเนสตรังรูป.....	153
4.27	เปรียบเทียบกราฟแบบ Lineweaver Burk plot ของเซลลูเลสอิสระ	

และ เซลลูเลสตรงรูป.....155

4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของหัวน้ำเชื้อกล้วยหอมที่สกัดได้กับจำนวน
ครั้งในการใช้งานของเครื่องปฏิกรณ์เอนไซม์ตรงรูป.....164

4.29 ผลของอะมัยเลสตรงรูปที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อปริมาณร้อยละของผลผลิต
หัวน้ำเชื้อกล้วยหอมและปริมาณของแข็งทั้งหมดในของเหลวจากกล้วยหอม
ที่สกัดได้.....166

4.30 หัวน้ำเชื้อกล้วยหอมที่สกัดได้โดยอาศัยเอนไซม์อิสระ และเอนไซม์ตรงรูป....167

ภาคผนวก

ก-1.1 เครื่องวัดความหนืด Ostwald viscometer.....188

ก-1.2 Ostwald viscometer พร้อมกับอ่างควบคุมอุณหภูมิ.....188

ก-2.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำตาลกลูโคสที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ191

ก-2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลกลูโคส
กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 495 นาโนเมตร.....192

ก-3.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายปฏิกิริยาน้ำแป้งกับไอโอดีนที่ความ
ยาวคลื่นต่างๆ.....194

ก-4.1 ผลของ pH ต่อ แอคติวิตีของ Pectinex Ultra SP-L.....196

ก-4.2 ผลของอุณหภูมิต่อแอคติวิตีของ Pectinex Ultra SP-L.....196

ก-5.1 ผลของ pH ต่อแอคติวิตีของ Celluclast 1.5L.....198

ก-5.2 ผลของอุณหภูมิต่อแอคติวิตีของ Celluclast 1.5L.....199

ก-5.3 ผลของ pH ต่อเสถียรภาพของ Celluclast 1.5L.....200

ก-5.4 ผลของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพของ Celluclast 1.5L.....202

ก-6.1 ผลของ pH ต่อแอคติวิตีของ Ban.....202

ก-6.2 ผลของอุณหภูมิต่อแอคติวิตีของ Ban.....202

ก-6.3 ผลของ pH ต่อเสถียรภาพของ Ban.....203

ก-6.4 ผลของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพของ Ban.....203

ก-8.1 เครื่องอินพราเรดสเปกโทรสโกปี.....209

ก-8.2	ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มเพื่อวิเคราะห์หาชนิดของไนลอนด้วยเครื่อง อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	210
ก-8.3	อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าไนลอนที่ความยาวคลื่นในช่วง $400-4000\text{cm}^{-1}$..	212
ก-8.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าไนลอนที่ความยาวคลื่นในช่วง $900-1000\text{cm}^{-1}$..	213
ก-8.5	สเปกตรัมมาตรฐานของไนลอน 6(1), ไนลอน 6 (2), ไนลอน 6,10 (3) และไนลอน 11(4).....	214



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย