รายงานการวิจัย
ปีงบประมาณ 2551

ผลิตภัณฑ์ผัก และผลไม้ท้องถิ่นที่มีหน้าที่เฉพาะ
ของสารพรีไบโอติกส์และแอนติออกซิเดนท์

Local Fruits and Vegetables Products
with Functional Substance of Prebiotic and Antioxidants

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

รศ. ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง และคณะ
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2551

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2551 ภายใต้แผนงานวิจัยนวัตกรรมเพื่อยกระดับคุณภาพ และความปลอดภัยทางอาหารสู่โครงสร้างเศรษฐกิจยุคใหม่ที่ให้เงินทุนสนับสนุนโครงการวิจัยผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ท้องถิ่นที่มีสารหน้าที่เฉพาะของสารพรีไบโอติกส์และแอนติออกซิแดนท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตสารสกัดจากผักและผลไม้ โดยใช้เทคนิคทางเอนไซม์ในการย่อยสลายเนื้อเยื่อพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดของเหลวต่างๆ รวมทั้งสารให้ สี กลิ่น รส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ทำให้สารสกัดที่ได้ยังคงรักษาองค์ประกอบเดิมและยังคงใยอาหารไว้แต่มีความเข้มข้นมากขึ้น สามารถนำไปใช้ผสมในอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ เพื่อทดแทนการใช้สารสังเคราะห์ สะดวกต่อการใช้งานและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยในปี 2550 ผู้วิจัยได้ศึกษาและคัดเลือกผักและผลไม้ท้องถิ่น ที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ ซึ่งพบว่าพืชที่มีลักษณะเด่นและมีสารหน้าที่เฉพาะด้านสารพรีไบโอติกได้แก่ กล้วยหอมและพุทรา ส่วนพืชกลุ่มที่ให้สีและสารต้านออกซิเดชันได้แก่ ใบเตยหอม ฝรั่งแดง มะตูม มะม่วงแคนตาลูป และแก้วมังกรแดง นำมาสู่งานวิจัยในปี 2551 ที่ได้ศึกษากระบวนการแปรรูปและภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของวัตถุดิบแต่ละชนิดด้วยเอนไซม์ โดยประกอบด้วยขั้นตอนการคัดเลือกวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบให้มีความคงตัวด้านสีและองค์ประกอบต่างๆ ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ และศึกษาลักษณะเฉพาะของสารสกัดที่ได้ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การใช้เอนไซม์ในกระบวนการผลิตจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของสารสกัด ช่วยเพิ่มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสารต้านอนุมูลอิสระ ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติการเป็นอิมัลชันของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

The objective of this research was to produce fruit and vegetable extract by using enzyme hydrolysis technique to increase juice yield and facilitate the extraction of the soluble substances and other fruit components such as color, flavor, and bioactive compounds. These plant extracts not only maintain the important ingredients, but also increase the extract concentration, and still remain all of dietary fiber. The product can be used as the natural ingredients in function food, replacing the synthetic chemical compounds, value added agricultural products, and more convenient to use. From our research in 2007, the potential fruits and vegetables were screened and selected to produce food bioactive ingredients. The results showed that banana and jujube were the source of prebiotic compounds; pandan leaf, red guava, bael fruit, mango, cantaloupe and red dragon were the source of colorants and antioxidant compounds. This research in 2008, the process and optimum condition of enzymatic extraction were studied. The investigation composes of selection and pretreatment for improving the stability of color and components in each raw materials, optimum enzymatic treatment, and product characterization. The results showed that enzyme treatment improved the quality of the extract by increasing bioactive compounds and antioxidants, and also improves the texture and emulsion properties of the product.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

		หน้าที่
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		จ
สารบัญรูป		ฉ
รายงานการวิจัย		1
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 1	ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและตรึงรูปสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกลิ่นของใบเตยหอม *Pandanus amaryllifolius*	5
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 2	กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไขรับกล้วยหอม *Musa acuminate* AAA Group'Gross Michel' เพื่อเป็นอาหารหน้าที่เฉพาะ	13
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 3	ผลของการสกัดด้วยเอนไซม์ต่อสารหน้าที่เฉพาะในฝรั่งแดง *Psidium guajava* L.	25
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 4	การผลิตด้วยเอนไซม์และการหาลักษณะเฉพาะของไขรับมะตูม *Aegle marmel* (L.) *Correa*	35
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 5	ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสทของมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L	44
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 6	การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam.	50
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 7	ผลของการใช้เอนไซม์ต่อสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose	56
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 8	การสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป *Cucumis melo* var. *cantalupensis* พันธุ์ขันเลดี้ด้วยเอนไซม์	62
ประวัตินักวิจัยและคณะ		67

สารบัญตาราง

		หน้าที่
ตารางที่ 1	อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพื่อสร้างอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex	7
ตารางที่ 2	ผลของสีที่เกิดขึ้นจากการสร้างอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex เมื่อควบคุมสภาวะ pH 3-8	8
ตารางที่ 3	ผลของสีที่เกิดขึ้นจากการสร้างอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex เมื่อควบคุมสภาวะ ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ 0-600 ppm	9
ตารางที่ 4	เปรียบเทียบค่าสีที่อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนในการเกิดอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex	11
ตารางที่ 5	สีของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ	21
ตารางที่ 6	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปมะตูมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ	38
ตารางที่ 7	ลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูมที่ระดับการย่อยสลายต่างๆ	40
ตารางที่ 8	ค่าสีของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม	52
ตารางที่ 9	ความสามารถในการอุ้มน้ำของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม	53
ตารางที่ 10	ค่าการดูดซับน้ำมันของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม	53
ตารางที่ 11	ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่นของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม	54
ตารางที่ 12	แสดงองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของส่วนที่เป็นเนื้อของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง	59
ตารางที่ 13	แสดงองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง	59
ตารางที่ 14	แสดงค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ที่ได้จากส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง	60
ตารางที่ 15	องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของเนื้อแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 3 ระดับ	64
ตารางที่16	องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของรกแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 3 ระดับ	64

สารบัญรูป

		หน้าที่
รูปที่ 1	ค่า Hue ที่ค่า pH 3-8 เมื่อให้ความร้อน 121 °C เป็นเวลา 15 นาที	8
รูปที่ 2	ค่า Hue ที่ค่า zinc chloride 0- 600 ppm	9
รูปที่ 3	(A)อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิด zinc chlorophyll complex และ (B) ขวด a ผ่านการเกิด metallochlorophyll complex และ b ชุดควบคุม	10
รูปที่ 4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ	22
รูปที่ 5	การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ	23
รูปที่ 6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง	28
รูปที่ 7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง	29
รูปที่ 8	ค่าความสว่าง (L*) ของไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง	30
รูปที่ 9	ค่าสีแดง (a*) ของไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง	31
รูปที่ 10	ค่าสีเหลือง (b*) ของไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง	31
รูปที่ 11	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง	32
รูปที่ 12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปมะตูมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ	38
รูปที่ 13	Flow curve ของไซรัปมะตูมที่ระดับการย่อยสลายต่างๆ	41
รูปที่ 14	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ	47
รูปที่ 15	ค่าการเกิดครีม (%creaming index) ในไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ	48

รายงานความก้าวหน้าของการวิจัย

ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย นวัตกรรมเพื่อยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยทางอาหารสู่โครงการสร้างเศรษฐกิจยุคใหม่

โครงการวิจัยเรื่อง : ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ท้องถิ่นที่มีสารหน้าที่เฉพาะของสารพรีไบโอติกส์และแอนติออกซิแดนท์ (Local Fruits and Vegetables Products with Functional Substance of Prebiotic and Antioxidants)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี .....2550..... **จำนวนเงิน**.....280,000..... **บาท**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี .....2551..... **จำนวนเงิน**.....286,500..... **บาท**

ระยะเวลาการทำวิจัย .....3 ปี..... **เริ่มทำการวิจัย**.....ตุลาคม 2549.....

รายงานความก้าวหน้าของการวิจัย ครั้งที่.1/2551 ..**ระหว่าง** ..1 ตุลาคม 2550...**ถึง**..มีนาคม 2551...

รายนามคณะผู้วิจัย พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัดและหมายเลขโทรศัพท์

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทรศัพท์ 02-2185515-6 โทรสาร 02-2544314
2. น.ส. ปรรัตน์ เซ็นกลาง นิสิตหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
3. น.ส. สมฤดี ไทพาณิชย์ นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
4. น.ส. วสาวี ถ้วยทอง นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
5. น.ส. ขมัยพร แรงกลาง นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
6. น.ส. สุวิมล เจริญสิทธิ์ นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
7. น.ส. เกวลี ครุณาสวัสดิ์ นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ
8. น.ส. นัฏฐพร วุฒิสิทธิ์ นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
9. น.ส. กรรณิการ์ สอนโยธา นิสิตหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
10. น.ส. ปรรัตน์ เซ็นกลาง นิสิตหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร เลขานุการ

(ลงชื่อ).....**หัวหน้าโครงการ**

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง)

...27../..พฤษภาคม.../..2551...

รายละเอียดเกี่ยวกับผลงานความก้าวหน้าของการวิจัย(แนบท้าย) มีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ใบเตย และใยอาหารผงจากพุทราไทย รวมทั้งไซรัปกล้วยหอม มะตูม ฝรั่งแดงไทย แคนตาลูป มะม่วงน้ำดอกไม้ แก้วมังกร สำหรับเป็นอาหารหน้าที่เฉพาะโดยใช้เอนไซม์

2. เพื่อผลิตน้ำผักและผลไม้พร้อมดื่มและน้ำผักผลไม้เข้มข้นที่มีส่วนผสมของสารพรีไบโอติกและ/หรือสารต้านออกซิเดชันและสารให้สี กลิ่น รสเฉพาะโดยเทคนิคเอนไซม์

2. ตารางเปรียบเทียบระหว่างแผนงานวิจัยตามที่เสนอไว้ในโครงการกับงานวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีที่ 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 หาลักษณะเฉพาะที่ต้องการสำหรับวัตถุดิบแต่ละประเภท	◄----►		◄----►									
	◄----►		◄----►									
2 หาสภาวะในการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมตามลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์1	◄----►											◄----►
	◄----►					◄----►						
3 หาภาวะการสกัดโดยวิธีเอนไซม์	◄----►											◄----►
	◄----►					◄----►						
4 หาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์						◄----►						◄----►
5 วิเคราะห์และติดตามลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์						◄----►						◄----►

◄----► แผนงานวิจัยตามที่เสนอไว้ในโครงการ

◄----► แผนงานวิจัยที่ได้ดำเนินการแล้ว

3. รายละเอียดผลงานวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

โครงการวิจัยด้านผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ท้องถิ่นที่มีหน้าที่เฉพาะแบ่งโครงการย่อยออกเป็น 10 โครงการ ซึ่งมีระยะเวลาดำเนินการวิจัยในปี 2549 – 2552 ซึ่งรายละเอียดโครงการและแผนการใช้งบประมาณแสดงในตารางที่ 1 สำหรับรายงานการวิจัยฉบับที่ 1/2551 นี้ได้เสนอผลการวิจัยได้แก่

โครงการย่อยที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและตรึงรูปสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกลิ่นของใบเตยหอม *Pandanus amaryllifolius*

โครงการย่อยที่ 2 กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอม *Musa acuminate L.* เพื่อเป็นอาหารหน้าที่เฉพาะ

โครงการย่อยที่ 3 ผลของการสกัดด้วยเอนไซม์ต่อสารหน้าที่เฉพาะในฝรั่งแดง *Psidium guajava* L.

โครงการย่อยที่ 4 การผลิตด้วยเอนไซม์และการหาลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูม *Aegle marmel* (L.)

โครงการย่อยที่ 5 ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสทของมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L

โครงการย่อยที่ 6 การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam.

โครงการย่อยที่ 7 ผลของการใช้เอนไซม์ต่อสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose

โครงการย่อยที่ 8 การสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป *Cucumis melo* var. *cantalupensis* พันธุ์ชันเลดี้ด้วยเอนไซม์

มีข้อสรุปของการวิจัยที่ใช้สำหรับในการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมแสดงในรายงานฉบับนี้

4. งานตามโครงการที่จะทำในงวดระยะเวลาต่อไป

ดังแสดงในตารางในหัวข้อที่ 2

5. คำชี้แจงเกี่ยวกับอุปสรรคหรือปัญหา

-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. งบประมาณที่ได้ใช้จ่ายไปแล้วนับตั้งแต่เริ่มโครงการ

รายการ	งบประมาณที่ได้รับ (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในรอบ 6 เดือน (บาท)	งบประมาณคงเหลือ (บาท)
ก. หมวดค่าจ้าง - ค่าตอบแทนคณะผู้วิจัย	84,000.00	84,000.00	-
ข. หมวดค่าวัสดุ - วัสดุเคมี เอนไซม์ - วัตถุดิบทางการเกษตร - อุปกรณ์เครื่องแก้ว - อุปกรณ์สำนักงาน	83,250.00	53,624.83	29,625.17
ค. หมวดค่าใช้สอย - ค่าจ้างเหมา - ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ - ค่าพาหนะ	119,250.00	-	119,250.00
ง. หมวดค่าครุภัณฑ์			
ค่าบริหารโครงการ			
รวมทั้งสิ้น	286,500	137,624.83	148,875.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 1
ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและตรึงรูปสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกลิ่นของใบเตยหอม *Pandanus amaryllifolius*

โดย นางสาวปรรัตน์ เซ็นกลาง และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 3

สารสร้างอนุพันธ์คลอโรฟิลล์โดยวิธี Metallochlorophyll complexes

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีเขียวของอนุพันธ์คลอโรฟิลล์โดยวิธี metallochlorophyll complexes โดยแปรค่า pH ในช่วง 3-8 แปรความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ในช่วง 0-600 ppm แปรระยะเวลา 0-105 นาที และแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 80-120 °C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วง pH เป็นกรดแก่ (pH3) และ pH เป็นกลางจนถึงด่าง (pH7-8) มีการเกิด zinc chlorophyll complex ได้ต่ำ สภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิด คือช่วงที่เป็นกรดอ่อน (pH 4-6) ระดับความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ทำให้เกิด zinc chlorophyll complex พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ทำให้เกิดสีเขียวมากขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 400 ppm ขึ้นไปสารสกัดที่ได้มีสีเขียวลด และความเข้มข้น 400-600 ppm $ZnCl_2$ ค่าสีเขียวไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) ดังนั้นปริมาณ $ZnCl_2$ ที่เหมาะสมคือ 400 ppm สำหรับอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าที่ อุณหภูมิ 80, 90, 100, 110 และ 120 °C สารสกัดใบเตยจะเกิดสีเขียวต้องใช้เวลาขั้นต่ำ 90 , 50, 20 , 15 และ 10 นาที ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นสามารถลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา zinc chlorophyll complex ลงได้ และสภาวะที่ให้สีเขียวสูงสุดคือการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 15 นาที ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา zinc chlorophyll complex เพื่อให้เกิดอนุพันธ์ที่มีสีเขียวในใบเตย คือ ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 4-6 ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 400 ppm และอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 110 °C นาน 15 นาที

บทนำ

ปัญหาที่พบในการสกัดสารสีจากใบเตยคือ ต้องเตรียมและใช้ทันทีไม่สามารถสกัดแล้วเก็บไว้ใช้เป็นเวลานานได้เพราะจะเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง เนื่องมาจากคลอโรฟิลล์ไม่ทนต่อกรด แสง เอนไซม์ และความร้อน ทำให้เปลี่ยนเป็นอนุพันธ์เช่น ฟีโอไฟติน (pheaophytin) ฟีโอฟอร์ไบด์ (pheaophorbide) ไพโรฟีโอไฟติน (pyropheophorbide) ที่มีสีเขียวมะกอกจนถึงสีน้ำตาล (Schwartz et al.,1981; Schwartz and von Elbe, 1983) มีรายงานวิจัยเพื่อรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์ เช่น การเติมสารละลายด่าง (alkalizing agents) เช่น sodium bicarbonate, hexametaphosphate, disodium glutamate, sodium hydroxide หรือ magnesium hydroxide เพื่อปรับค่า pH ให้สูงขึ้น (Blair and Ayres, 1943) การใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (Tan and Fancis, 1962) และใช้วิธี aseptic process ในการรักษาสีเขียวใน spinach puree พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิ 142°C เวลา 5.3 วินาที แต่ก็ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเหลือเพียง 68% (Schwartz and Lonenzo, 1991) และจากรายงานการวิจัยข้างต้นพบว่าวิธีดังกล่าวเก็บรักษาสีได้เพียงระยะเวลาสั้นๆ (Clydesdale and Francis, 1968; Schwartz and Lorenzo,1991)

นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยที่เปลี่ยนรูปคลอโรฟิลล์ธรรมชาติ (native chlorophyll) ให้เป็นอนุพันธ์คลอโรฟิลล์ที่มีสีเขียว (green metallocomplexes of chlorophyll derivatives) หรือการทำ re-greening โดยทำปฏิกิริยากับเกลือโลหะ เช่น zinc หรือ copper (LaBorde and von Elbe, 1994; LaBorde and von Elbe, 1994 (a,b)) เพื่อรักษาสีเขียวในผักบรรจุกระป๋อง เช่น Ngo and Zhao(2005) พบว่าการทำให้ลูกแพร์บรรจุกระป๋องยังคงมีสีเขียวอยู่ได้มากกว่า 19 สัปดาห์ ต้องผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 94 °C ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 1300 ppm LaBorde and vonElbe (1994 a) รายงานว่าการรักษาสีเขียวใน pea puree ต้องใช้ซิงค์คลอไรด์ 300 ppm และการใช้ sodium dodecyl sulfate เป็น detergent เพื่อเพิ่มการเกิด zinc complex มากขึ้น และ Canjura et al (1999) แนะนำว่าการรักษาสีเขียวของ green pea ต้องผ่านการลวกในสารละลายซิงค์คลอไรด์ 300 mg/L ที่อุณหภูมิ 83°C นาน 5 นาที แล้วจึงนำไปให้ความร้อนแบบ Aseptic process แม้ว่าการสร้างอนุพันธ์ของ copper เกิดได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับ zinc (Schanderl et al., 1965; Jones et al., 1977) แต่ปัจจุบันหันมาให้ความสนใจกับการสร้างอนุพันธ์ของ zinc มากกว่าเพราะไอออนของ copper มีความเป็นพิษ(LaBorde and von Elbe, 1994 a,b ; Humphery, 2004) อนุพันธ์ของซิงค์คลอโรฟิลล์จะให้สีเขียวเหมือนกับคลอโรฟิลล์ที่พบในธรรมชาติ แต่มีความคงตัวต่ออุณหภูมิและpH มากกว่า (Tonucci and von Elbe, 1992)

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาการสร้างอนุพันธ์ซิงค์คลอโรฟิลล์

นำใบเตยสด 500 กรัม ปั่นกับน้ำในอัตราส่วน 1:4 โดยใช้ Blender ปรับค่า pH 3-8 โดยใช้กรดซิตริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ แปรระดับความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ ที่ 0-600 ppm และแปรระดับอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาที่ 80 , 90 °C โดยใช้อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (water bath) และ 100, 110, 120 °C โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ แสดงในตารางที่ 1 ตรวจวัดค่าสี L, a, b, C,H เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 1 อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพื่อสร้างอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex

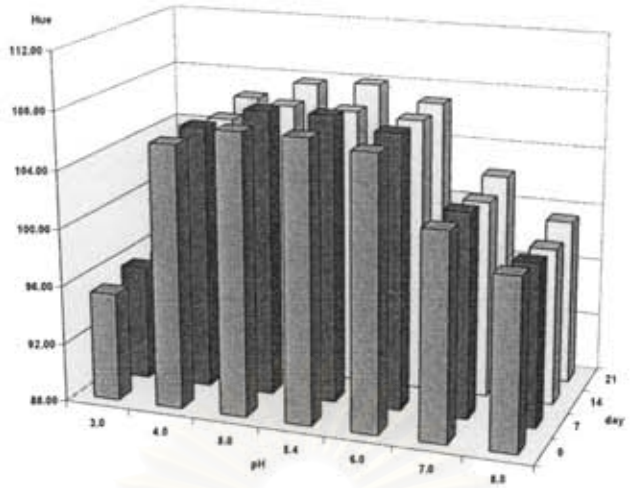
อุณหภูมิ(°C)	เวลา (นาที)
80	15, 30, 45, 60, 75, 90, 105
90	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70
100	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35
110	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35
120	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35

ผลการทดลอง

1 ปัจจัยที่มีผลต่อ zinc chlorophyll complex

1.1 pH

สภาวะความเป็นกรด-ด่างส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของสารสกัดใบเตยอย่างมีนัยสำคัญ($p<0.01$) ในสภาวะที่เป็นกรดแก่ (pH 3.0) สารสกัดมีสีเขียวอมน้ำตาลที่เป็นอนุพันธ์ของ pheophytin (Heaton and Marangoni ,1996) และเมื่อให้ความร้อนในสภาวะที่มีซิงค์คลอไรด์ 500 ppm พบว่าเกิดสีน้ำตาลเกิดมากขึ้น ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (pH 4.0-6.0) เริ่มต้นสารสกัดมีสีเขียวมะกอกแต่เมื่อให้ความร้อนในสภาวะที่มีซิงค์คลอไรด์พบว่าจะเกิดสีเขียวขึ้น (รูปที่ 1) ในขณะที่เป็นกลางจนถึงเป็นด่างอ่อน (pH 7.0-8.0) พบว่าก่อนให้ความร้อนสารสกัดมีสีเขียวสดแต่เมื่อให้ความร้อนแล้วพบว่าเกิดสีเขียวอมน้ำตาลและสีน้ำตาล เมื่อพิจารณา pH ของวัตถุดิบใบเตย (pH 5.4) พบว่าเมื่อให้ความร้อนแล้วเกิดสีเขียวขึ้น



รูปที่ 1 ค่า Hue ที่ค่า pH 3-8 เมื่อให้ความร้อน 121 °C เป็นเวลา 15 นาที โดย

0 วัน 7 วัน 14วัน 21วัน

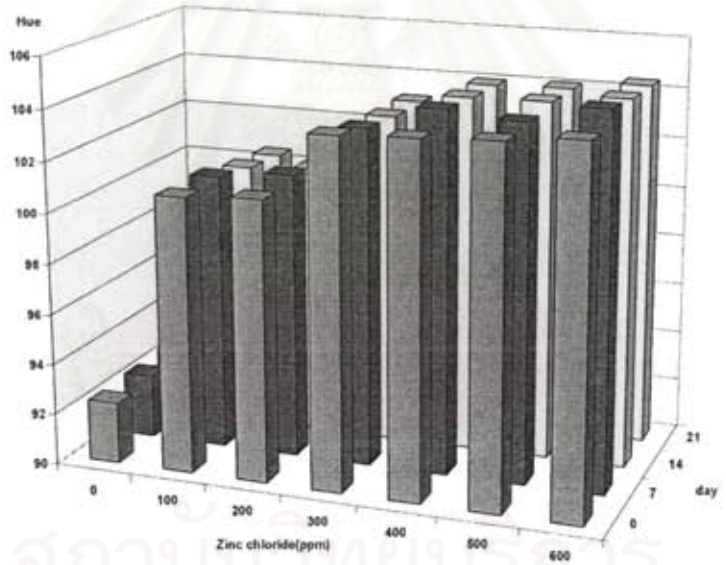
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วง pH เป็นกรดแก่ (pH3) และ pH เป็นกลางจนถึงด่าง (pH7-8) จะเกิด zinc chlorophyll complex ได้ต่ำ สภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว คือช่วงที่เป็นกรดอ่อน (pH 4-6) ดังนั้นวัตถุดิบใบเตยสกัดมีค่า pH 5.4 จึงเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาโดยไม่ต้องมีการปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง LaBorde and von Elbe (1994) รายงานว่าค่า pH ที่จะเกิด zinc chlorophyll complex คือ pH 4-6 และจะลดลงเมื่อ pH 8 ขึ้นไป เพราะสภาวะที่เป็นกรดอ่อนไปทำให้ โมเลกุล Mg^{2+} ในวงแหวน porphyrin หลุดออกและถูกแทนที่ด้วย H^{2+} เกิดเป็น pheophytin และเมื่อมีไอออนของ Zn^{2+} ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้เข้าแทนที่ H^{2+} เกิดเป็น zinc chlorophyll complex ในสภาวะเป็นด่างมีผลทำให้การละลายของเกลือโลหะลดต่ำลง และทำให้เกิดรูปที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble) ของ $Zn(OH)_2$ จึงทำให้ไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับคลอโรฟิลล์ (LaBorde and von Elbe, 1994)

ตารางที่ 2 ผลของสีที่เกิดขึ้นจากการสร้างอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex เมื่อควบคุมสภาวะ pH 3-8

pH	L*value	a*value	b* value	Hue
3.0	45.53 ± 0.02^{a}	-3.76 ± 0.04^{a}	39.77 ± 0.08^{a}	95.40 ± 0.06^{f}
4.0	41.47 ± 0.04^{b}	-8.51 ± 0.03^{d}	29.57 ± 0.04^{d}	106.06 ± 0.06^{c}
5.0	38.37 ± 0.03^{e}	-8.74 ± 0.02^{e}	28.12 ± 0.06^{e}	107.27 ± 0.07^{a}
5.4	39.19 ± 0.05^{d}	-8.51 ± 0.04^{d}	27.40 ± 0.01^{f}	107.24 ± 0.07^{a}
6.0	31.28 ± 0.02^{f}	-9.67 ± 0.02^{f}	32.31 ± 0.03^{c}	106.67 ± 0.05^{b}
7.0	41.48 ± 0.04^{b}	-7.63 ± 0.02^{c}	35.55 ± 0.05^{b}	102.11 ± 0.04^{d}
8.0	39.82 ± 0.02^{c}	-6.73 ± 0.01^{b}	39.71 ± 0.07^{a}	99.62 ± 0.03^{e}

1.2 **ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$**

นำสารสกัดใบเตยเติม $ZnCl_2$ ที่ระดับ 0 - 600 ppm แล้วนำไปให้ความร้อนที่ 121 °C นาน 15 นาที พบว่าตัวอย่างที่เติม $ZnCl_2$ ให้ค่าสีเขียวสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) ในชุดควบคุมจะเกิดสีน้ำตาลเข้ม ในขณะที่ชุดที่เติม $ZnCl_2$ จะมีสีเขียว และพบสีเขียวมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ มากขึ้น (รูปที่ 2) ที่ระดับความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 400 ppm ขึ้นไปสารสกัดที่ได้มีสีเขียวสด และความเข้มข้น 400-600 ppm $ZnCl_2$ ค่าสีเขียวไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปริมาณ $ZnCl_2$ ที่ 400 ppm เป็นสภาวะที่ทำให้เกิด zinc chlorophyll complex ได้ ซึ่ง Ngo and Zhao(2007) รายงานว่าลูกแพร์บรรจุกระป๋องจะมีสีเขียวมากกว่า 19 สัปดาห์ เมื่อผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 94°C ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1300 ppm และ LaBorde and vonElbe (1994) รายงานว่าการรักษาสีเขียวใน pea puree ต้องใช้ซิงค์คลอไรด์ 300 ppm และ Cajura et al(1999) พบว่า green pea ที่ผ่านการลวกที่ 83°C 5 นาที ในสภาวะที่มีซิงค์คลอไรด์ 300 mg/L และให้ความร้อนที่แบบ Aseptic process จะรักษาสีเขียวได้



รูปที่ 2 ค่า Hue ที่ค่า zinc chloride 0- 600 ppm ■0 วัน ■7 วัน □14วัน □21วัน

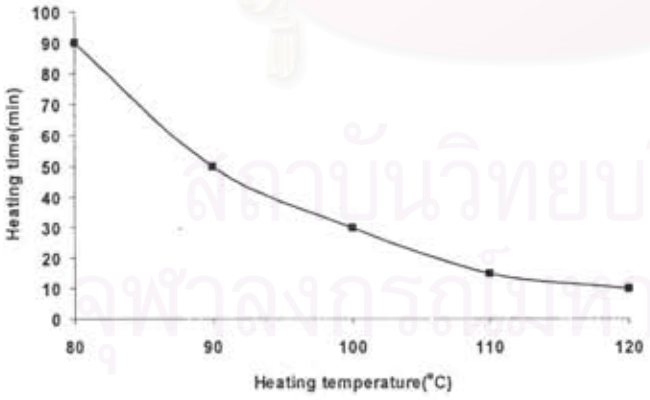
ตารางที่ 3 ผลของสีที่เกิดขึ้นจากการสร้างอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex เมื่อควบคุมสภาวะ ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ 0-600 ppm

$ZnCl_2$	L*value	a*value	b*value	Hue
0	37.14 ± 0.02^{b}	-1.22 ± 0.02^{f}	33.03 ± 0.07^{a}	92.40 ± 0.52^{d}
100	32.82 ± 0.02^{d}	-6.14 ± 0.03^{e}	32.01 ± 0.01^{b}	100.87 ± 0.04^{c}
200	40.61 ± 0.01^{a}	-6.22 ± 0.02^{d}	31.86 ± 0.02^{c}	101.05 ± 0.02^{c}
300	35.42 ± 0.01^{c}	-7.42 ± 0.01^{c}	31.72 ± 0.06^{d}	103.68 ± 0.03^{b}
400	29.58 ± 0.02^{f}	-7.79 ± 0.03^{b}	31.72 ± 0.06^{d}	103.80 ± 0.06^{ab}
500	27.46 ± 0.02^{c}	-7.83 ± 0.03^{b}	31.60 ± 0.02^{e}	103.93 ± 0.03^{ab}
600	32.42 ± 0.02^{e}	-8.03 ± 0.07^{a}	31.78 ± 0.05^{d}	104.20 ± 0.11^{a}

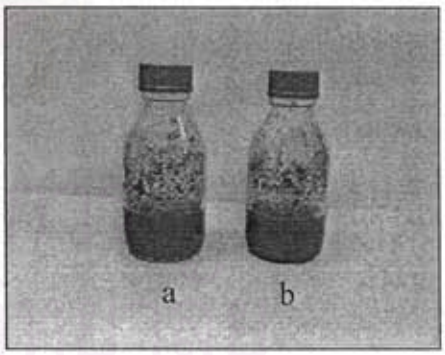
1.3 อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา Zinc chlorophyll complex

อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อการเกิด zinc chlorophyll complex ทำให้ค่าสีเขียวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) โดยเมื่อความร้อนสูงขึ้นและเวลานานขึ้นสีเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนคงที่ (รูปที่ 3) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 80, 90, 100, 110 และ 120 °C สารสกัดใบเตยจะเกิดสีเขียวต้องใช้เวลาขั้นต่ำ 90 , 50, 20 , 15 และ 10 นาที ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นสามารถลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าสีเขียว (-a*value) และสภาวะที่ให้สีเขียวสูงสุดคือการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 15 นาที LaBorde and vonElbe (1994) รายงานว่า การเกิด metallo-chlorophyll complex จะไม่เกิดกับคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในรูปธรรมชาติ (Native chlorophyll) แต่จะเกิดขึ้นได้เฉพาะกับอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll derivative) เท่านั้น ดังนั้นการให้ความร้อนในสภาวะที่เป็นกรดจึงเป็นการเปลี่ยนรูปคลอโรฟิลล์ให้เป็นอนุพันธ์ pheophytin, pyropheophytin และpheophorbide ซึ่งอนุพันธ์ดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับ Zn^{2+} ทำให้เกิดอนุพันธ์ของ zinc-pheophytin และเมื่อให้ความร้อนมากขึ้นจะทำให้เกิด zinc pyropheophytin มากขึ้นด้วย

สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา zinc chlorophyll complex ของใบเตย คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4-6 ซึ่งเป็นช่วงของวัตถุดิบใบเตย ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 400 ppm ขึ้นไปและอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 110 °C นาน 15 นาที



(A)



(B)

รูปที่ 3 (A)อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิด zinc chlorophyll complex และ (B) ขวด a ผ่านการเกิด metallochlorophyll complex และ b ชุดควบคุม

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าสีที่อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนในการเกิดอนุพันธ์ zinc chlorophyll complex

Heating temp. (°C)	Heating time (minutes)	Color value			
		L*value	a*value	b* value	Hue
80	90	8.55 ± 0.07^{d}	-8.38 ± 0.01^{a}	13.23 ± 0.16^{d}	124.50 ± 0.71^{a}
90	50	31.08 ± 1.41^{b}	-9.48 ± 0.19^{b}	29.84 ± 0.04^{b}	107.58 ± 0.28^{c}
100	20	24.11 ± 0.37^{c}	-9.64 ± 0.06^{c}	30.60 ± 0.31^{b}	107.42 ± 0.12^{b}
110	15	29.23 ± 2.40^{b}	-11.71 ± 0.05^{c}	31.25 ± 0.39^{a}	110.51 ± 0.22^{b}
120	10	34.94 ± 0.61^{a}	-9.63 ± 0.43^{b}	27.61 ± 0.06^{c}	108.11 ± 0.01^{c}

สรุปผลการทดลอง

การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีเขียวของอนุพันธ์คลอโรฟิลล์โดยวิธี metallochlorophyll complexes โดยแปรค่า pH ในช่วง 3-8 แปรความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ในช่วง 0-600 ppm แปรระยะเวลา 0-105 นาที และแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 80-120 ^{0}C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วง pH เป็นกรดแก่ (pH3) และ pH เป็นกลางจนถึงด่าง (pH7-8) เกิด zinc chlorophyll complex ได้ต่ำ สภาวะที่เหมาะสมคือช่วงที่เป็นกรดอ่อน (pH 4-6) ระดับความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ทำให้เกิด zinc chlorophyll complex พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ทำให้เกิดสีเขียวมากขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 400 ppm ขึ้นไปสารสกัดที่ได้มีสีเขียวสด และความเข้มข้น 400-600 ppm $ZnCl_2$ ค่าสีเขียวไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) ดังนั้นปริมาณ $ZnCl_2$ ที่ 400 ppm สำหรับอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าที่ อุณหภูมิ 80, 90, 100, 110 และ 120 °C สารสกัดใบเตยจะเกิดสีเขียวต้องใช้เวลาขั้นต่ำ 90 , 50, 20 , 15 และ 10 นาที ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นสามารถลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา zinc chlorophyll complex ลงได้ และสภาวะที่ให้สีเขียวสูงสุดคือการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 15 นาที ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา zinc chlorophyll complex เพื่อให้เกิดอนุพันธ์ที่มีสีเขียวในใบเตย คือ ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 4-6 ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 400 ppm และอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 110 °C นาน 15 นาที

เอกสารอ้างอิง

Blair, J. S.; Ayres, T. B. Protection of natural green pigment in the canning of peas. Ind. Eng. Chem. 1943(35): 85-95.

Canjura, F.L., Watkins, R.H., and Schwartz, S.J. 1999. Color improvement and Metallo-chlorophyll complexes in continuous flow aseptically processed peas.Journal of food science. 64(6): 987-989.

Clydesdale, F. M.; Lin, Y. D.; Francis, F. J. Formation of 2-pyrrolidone-S-carboxylic acid from glutamine during processing and storage of spinach puree. J. Food Sci. 1972, 37,45-47.

Humphery, A.M. 2004. Chlorophyll as a color and functional ingredient. *Journal of Food Science.* 69(5): C422-C425.

Jones, I., White, R., Gibbs, E., Butler, L., & Nelson, L., 1977. Experimental formation of zinc and copper complexes of chlorophyll derivatives in vegetables tissue by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2*, 149-153.

LaBorde, L.F., and von Elbe, J.H. 1990. Zinc complex formation in heated vegetable puree. *Journal Agricultural Food Chemistry*. 38(2): 484-487.

LaBorde, L.F., and von Elbe, J.H. 1994 (a). Effect of solutes on zinc complex formation in heated green vegetable. *Journal Agricultural Food Chemistry*. 42(5):1096-1099

LaBorde, L.F. and von Elbe, J.H. 1994 (b). Chlorophyll degradation and zinc complex formation with chlorophyll derivatives in heated green vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42, 1100-1103.

NGO T., and ZHAO, Y. 2007. Formation of zinc-chlorophyll-derivative complexes in thermally processed green pears (*Pyrus communis* L.) *Journal of Food Science*, 72 (7), C397 - C404.

Schanderl, S., Marh, G., Chichester, O., 1965. Color reversion in processed vegetables I. Studies on regreened pea puree. *Journal of Food Sciece.30*, 312-316.

Schwartz, S. J., and Lorenzo, T. V. (1991). Chlorophyll stability during continuous aseptic processing and storage. *Journal of Food Science*, 56, 1059–1062.

Schwartz, S. J., and von Elbe, J. H. (1983). Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *Journal of Food Science*, 48, 1303–1306.

Schwartz, S. J., Woo, S. L., and von Elbe, J. H. (1981). High performance liquid chromatography of chlorophylls and their derivatives in fresh and processed spinach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29, 533–535.

Tan, C. T., and Francis, F. J. (1962). Effect of processing temperature on pigments and colour of spinach. *Journal of Food Science*, 27, 232–240.

Tonucci, L.H., and von Elbe, J.H. 1992. Kinetics of the formation of zinc complexes of chlorophyll derivatives. *Journal Agricultural Food Chemistry*.40: 2341-2344.

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 2
กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอม
Musa acuminata **AAA Group 'Gross Michel' เพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ**
โดย นางสาวสมฤดี ไทพาณิชย์ และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 3

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ ของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง (*Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel') สุกระยะ 7 และหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอมเพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะโดยใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า จากการศึกษาทดลองเปรียบเทียบการผลิตไซรัปกล้วยหอมเพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะโดยใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า 2 ชนิด คือ Pectinex Ultra SP-L® และ Sigma P4300® ปริมาตร 0.5-1.5 % โดยปริมาตรเอนไซม์ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วยหอม (v/w) นาน 0-12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32±2°C และวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ พบว่า การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาตร 1.5 % (v/w) นาน 3 ชั่วโมง จะได้ไซรัปกล้วยหอมที่สีเหลืองนวล มีกลิ่นกล้วยหอมชัดเจน มีเสถียรภาพสูง

บทนำ

การประยุกต์ใช้เอนไซม์จากภายนอกเพื่อย่อยสลายเนื้อเยื่อของกล้วยหอม ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีเพกทินปริมาณมาก หรือเพื่อสกัดเอาองค์ประกอบบางอย่างที่อยู่ภายในเซลล์ของกล้วยหอมออกมา เช่น สี กลิ่นรส และสารประกอบอื่นๆ ล้วนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ๆจากกล้วยหอมที่มีความหลากหลาย มีคุณภาพที่ดีขึ้น และช่วยให้กระบวนการแปรรูปผลไม้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากการอยู่รวมกันของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลสในเนื้อกล้วยหอม จะทำให้เนื้อกล้วยหอมมีความข้นเหนียว ความข่น รวมทั้งมีผลต่อการกักเก็บสารประกอบต่างๆ เช่น รงควัตถุ สารกลิ่นรส สารต้านอนุมูลอิสระไว้ภายในเนื้อเยื่อด้วย แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้เอนไซม์เพคติเนสย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมมี 3 ประการ คือ ความสามารถในการย่อย

สารประกอบเพกทินซึ่งขึ้นกับชนิดของสารประกอบเพกทินที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อกล้วยหอม และชนิดเอนไซม์เพคติเนสที่ใช้ ภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ สุดท้ายคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ได้ เช่น ความใส ความข้น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความคงตัว ทั้งนี้สามารถแบ่งสารประกอบเพกทิน ที่พบในเนื้อกล้วยหอมตามลักษณะของโครงสร้างหลักได้เป็นโปรโตเพกทิน เพกทิน กรดเพกทินิก และกรดเพกทิก (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

ก. โปรโตเพกทิน คือ สารประกอบเพกทินต้นตอที่ไม่ละลายน้ำ พบมากในเนื้อกล้วยหอมดิบ

ข. เพกทิน คือ สารประกอบเพกทินที่หมู่คาร์บอกซิลประมาณ 75% ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล พบมากในเนื้อกล้วยหอมที่เริ่มสุกจนสุกงอม

ค. กรดเพกทินิก คือ สารประกอบเพกทินที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่เล็กน้อย พบมากในเนื้อกล้วยหอมสุก

ง. กรดเพกทิก คือ สารประกอบเพกทิน หรือพอลิเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุล

เพคติเนส เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่เร่งการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน สามารถจำแนกเพคติเนสอย่างกว้างๆได้เป็น 3 กลุ่ม คือ โปรโตเพคติเนส เอสเทอเรส และดีพอลิเมอเลส (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

ก. โปรโตเพคติเนส คือ เอนไซม์ที่เร่งการสลายโปรโตเพกทินด้วยน้ำ ได้ พอลิเมอร์ของเพกทินที่สั้นลง 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

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

เนื้อกล้วยหอมบด 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 (Pilnik และ Voragen, 1991; ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

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. pH ค่า pH มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์เช่นเดียวกับอุณหภูมิ

ง. ระยะเวลา เมื่อปริมาณซับสเตรต และเอนไซม์คงที่ การเพิ่มระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการจับตัวของเอนไซม์และซับสเตรตมีมากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้มากขึ้นด้วย แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องจากซับสเตรตของเอนไซม์ชนิดนั้นๆหมด หรือปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล

อรุณี เพียรทวีรัชต์ และ ปราณี อ่านเปรื่อง (2536) ใช้เพคติเนส เซลลูเลส และ แอมิเลสทางการค้า (Pectinex Ultra SP-L, Celluclast 1.5L และ Ban 240L ตามลำดับ) เพื่อช่วยในการสกัดน้ำ

กล้วยหอม 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 Grassin และ Fauquembergue (1996) ได้รายงานปริมาณเอนไซม์เพคติเนสที่เหมาะสม สำหรับใช้ย่อยเนื้อกล้วยหอมบด จะอยู่ในช่วง 75-100g/ton ของน้ำหนักเนื้อกล้วยหอมนาน 1-2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45°C pH 4.5-4.8 Revilla และ Ganzalez-san jose (2003) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไวน์แดงโดยใช้เอนไซม์ย่อยสลายเพกทินเติมลงในน้ำผลไม้ก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ พบว่าการเติมเอนไซม์ลงในน้ำผลไม้จะทำให้ไวน์ที่ได้มีลักษณะปรากฏด้านสี และความใสดีขึ้น นอกจากนี้ไวน์ที่ได้จะมีเสถียรภาพสูงขึ้น ไม่เกิดการตกตะกอนในระหว่างการเก็บรักษา Kaur, Kumar และ Satyanarayana (2004) ใช้เอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนสชนิดที่ทนความร้อนร่วมกับเอนไซม์เพคติเนส กับเนื้อผลไม้ชนิดต่างๆ พบว่า การใช้เอนไซม์กับเนื้อกล้วยหอม องุ่น และแอปเปิ้ล จะช่วยให้ได้น้ำผลไม้ปริมาตรมากขึ้น Lee, Yusof, Hamid และ Baharin (2006) ใช้เพคติเนส (Pectinex Ultra SP-L) แอมิเลส (AMG 300L) ทางการค้าศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำน้ำกล้วยหอมให้ใสโดยใช้เอนไซม์ พบว่าการใช้เอนไซม์ในภาวะที่แตกต่างกัน (ปริมาณเอนไซม์ อุณหภูมิ และระยะเวลา) จะมีผลต่อความสามารถในการกรองความใส ความขุ่น และความหนืดของน้ำกล้วยที่ได้ และภาวะที่เหมาะสมในการทำน้ำกล้วยให้ใส คือ ใช้เอนไซม์เพคติเนสความเข้มข้น 0.084% บ่มที่อุณหภูมิ 43.2° C นาน 80 นาที

วิธีการทดลอง

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% จนกล้วยสุกถึงระยะ 7 จึงนำมาใช้ในการทดลอง

2. เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า

Pectinase (Pectinex Ultra SP-L®)	(Novo Industri A/S Copenhegen, Denmark)
Pectinase (Sigma P4300®)	(Sigma-Aldrich, Germany)

3. ประเมินภาวะการผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ

ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ กับคุณภาพทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของเนื้อกล้วยหอมบดที่ผ่านกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ และหาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปด้วยเอนไซม์สำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ โดยใช้กล้วยหอมที่มีระยะการสุกระยะ 7 เป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ชนิดเอนไซม์ทางการค้า ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา โดยกำหนดให้เอนไซม์ทางการค้าที่ใช้มี 2 ชนิด คือ Pectinex Ultra SP-L® มีแอกทิวิตี 5.59 units/ml และ Sigma P4300® มีแอกทิวิตี 448 units/g solid (เอนไซม์ 1 unit จะสามารถย่อยสลาย polygalacturonic acid ให้ได้ galacturonic acid 1.0 μmol/min ที่ pH 4.0 อุณหภูมิ 25°C) เนื่องจาก Sigma P4300® ที่จำหน่ายทางการค้าจะอยู่ในรูปผงของแข็งแห้ง ดังนั้นจึงต้องมีการนำ Sigma P4300® ปริมาณ 250 mg ละลายในน้ำกลั่น โดยให้มีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 20 ml เพื่อให้ได้สารละลายของเอนไซม์ Sigma P4300® ที่มีแอกทิวิตีเท่ากับเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® (5.59 units/ml) ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวก่อนนำมาใช้งาน ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดต่อการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมได้ ปริมาตรเอนไซม์ที่ใช้มี 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยปริมาตรเอนไซม์ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วยหอม (v/w) และระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะอยู่ในช่วง 0-12 ชั่วโมง ทำโดยนำเนื้อกล้วยหอมบดมาเติมเอนไซม์ และบ่ม แปรชนิดเอนไซม์ ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาการบ่มตามที่ระบุไว้ข้างต้น จากนั้นหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100±5°C นำตัวอย่างไซรัปกล้วยหอมที่ภาวะต่างๆ มาตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัส และสมบัติทางเคมีกายภาพต่อไปนี้

3.1 <u>คุณภาพทางประสาทสัมผัส</u>

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอม ทำโดยนำไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้จากภาวะต่างๆไปใช้ในการทำขนมถ้วยฟู โดยใช้ไซรัปกล้วยหอมปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ ทดแทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 10 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่นรสกล้วยหอม และรสหวาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) โดยการให้คะแนนเปรียบเทียบกับขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบดปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำแทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์

3.2 <u>ค่าสี</u>

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

3. 3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar, RS)

ใช้การวิเคราะห์ปริมาณ RS ตามวิธีการของ Nelson (1994)

3.4 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

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

ผลการทดลอง

ประเมินภาวะในการผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะโดยใช้เอนไซม์

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ กับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปด้านสี กลิ่นกล้วยหอม (Banana flavor) รสชาติ และกลิ่นรสแปลกปลอมของไซรัปกล้วยหอมเมื่อนำไปเติมลงในขนมถ้วยฟูปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ แทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) โดยการให้คะแนนเปรียบเทียบกับขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบดปริมาณ 10% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดรวมน้ำ แทนการใช้กลิ่นกล้วยหอมสังเคราะห์ในสูตรต้นแบบ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปที่ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ พบว่าภาวะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมด้วยเอนไซม์ ไม่ว่าจะเป็นชนิดของเอนไซม์ ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาที่ใช้ ล้วนมีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูที่ได้ โดยขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจะเริ่มมีสีเหลืองนวลมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบด (ได้คะแนนมากกว่า 3.5 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาตร 0.5-1.5% (v/w) นาน 0.5, 1.และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ หรือเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาตร 0.5-1.5% (v/w) นาน 2-4 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้ไม่มีภาวะใดได้ขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมมีสีเหลืองเข้ม (ได้คะแนนมากกว่า 4.5 คะแนน)

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

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูด้านกลิ่นกล้วยหอม จะเห็นว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจะเริ่มมีกลิ่นกล้วยหอมมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบดเล็กน้อย (ได้คะแนนมากกว่า 4.0 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาตร 1.5 % (v/w) นาน 2 ชั่วโมง และจะได้ขนมถ้วยฟูที่มีกลิ่นกล้วยหอมค่อนข้างชัดเจน (ได้คะแนนมากกว่า 4.5 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาตร 1.5% (v/w) หรือ เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาตร 0.5% (v/w) นาน 8 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอมด้านรสชาติจะเห็นว่า ขนมถ้วยฟูที่ใช้ไซรัปกล้วยหอมจะเริ่มมีรสหวานมากกว่าขนมถ้วยฟูที่ใช้เนื้อกล้วยหอมบด (ได้คะแนนมากกว่า 3.5 คะแนน) เมื่อใช้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากการนำเนื้อกล้วยหอมบดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาตร 0.5-1.0% (v/w) นาน 4 ชั่วโมง หรือปริมาตร 1.5% (v/w) นาน 4-8 ชั่วโมง หรือ เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาตร 0.5-1.5% (v/w) นาน 12 ชั่วโมง และเอนไซม์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดที่นำมาใช้ไม่ทำให้เกิดกลิ่นรสแปลกปลอมในระดับที่ผู้ทดสอบสามารถรู้สึกได้

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

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®

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ กับสมบัติทางเคมีกายภาพของไซรัปกล้วยหอมที่ได้ในด้าน สี และขนาดอนุภาค ได้ผลดังตารางที่ 5 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% (v/w) สำหรับการใช้เอนไซม์ Sigma P4300® ปริมาณ 0.5% ถึง 1.5% (v/w) ในกระบวนการแปรรูป พบว่าไม่ทำให้ไซรัปที่ได้มีความสว่าง และสีเหลืองเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงโดยตารางที่ 5

เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ทำให้ไซรัปที่ได้มีความสว่าง และมีสีเหลืองลดลง แต่มีสีเขียวมากขึ้น น่าจะมีสาเหตุมาจากสีของเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ที่จำหน่ายทางการค้าจะอยู่ในรูปของสารละลายที่มีสีน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้เอนไซม์ Sigma P4300® ที่จำหน่ายทางการค้าจะอยู่ในรูปผงสีขาว และเมื่อนำมาละลายด้วยน้ำกลั่นในปริมาณที่ใช้ในงานวิจัยจะได้สารละลายสีน้ำตาลอ่อนๆ ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อความสว่าง และสีของไซรัปกล้วยหอมที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้นี้กับผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองที่ลดลงเนื่องจากการใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ไม่ส่งผลให้ไซรัปกล้วยหอมที่ได้มีสีคล้ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับสีของเนื้อกล้วยหอมบด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

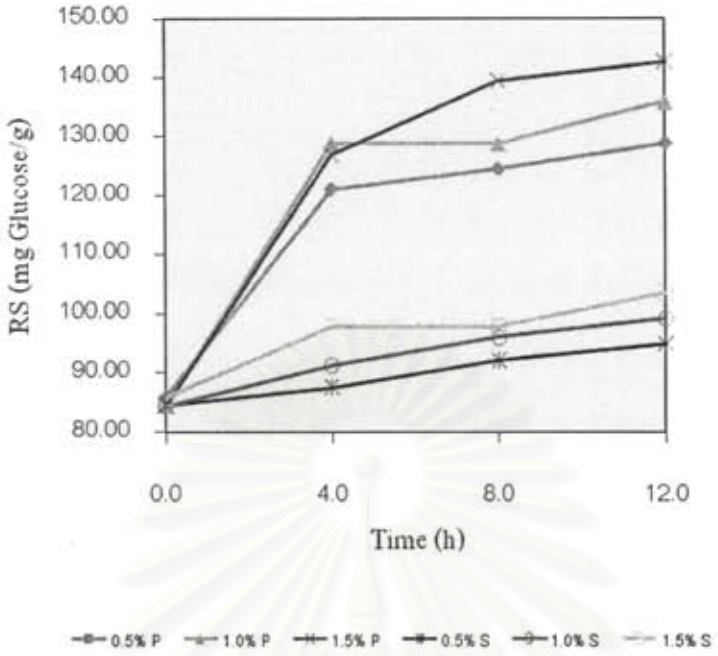
ตารางที่ 5 สีของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

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

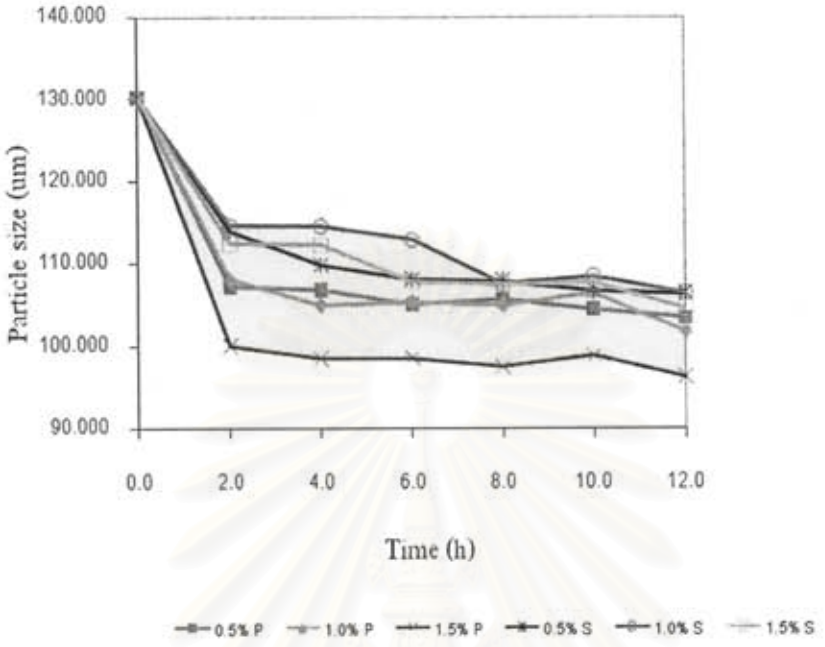
ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อติดตามการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดปริมาณต่างๆ นาน 0-12 ชั่วโมง จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปกล้วยหอม พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณมากขึ้นจะทำให้มีอัตราการเพิ่มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นด้วย โดยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® จะทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ในขณะที่เอนไซม์ Sigma P4300® จะทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4 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



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปกล้วยหอม ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

เมื่อติดตามการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอมด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดปริมาณต่างๆ นาน 0-12 ชั่วโมง จากขนาดอนุภาคของไซรัปกล้วยหอม พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ และเมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณมากขึ้น จะทำให้ขนาดอนุภาคมีอัตราการลดลงเร็วขึ้น ดังรูปที่ 5 เอนไซม์ทางการค้าที่ใช้ มีบทบาทในการช่วยลดขนาดอนุภาคได้ เนื่องจากเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด จัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบเพกทินได้พอลิเมอร์ของเพกทินที่สั้นลง ส่งผลให้ขนาดอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กลง โดยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® จะช่วยลดขนาดอนุภาคได้ดีกว่าเอนไซม์ Sigma P4300® เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถช่วยเสริมการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสได้ ในขณะที่ Sigma P4300®จะประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนสเพียงชนิดเดียว



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากการทดลองพบว่า ไซรัปกล้วยหอมที่ได้จะมีเสถียรภาพ หรือไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำ เมื่อใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ปริมาณ 1.5 % นาน 2-12 ชั่วโมง และจากข้อมูลที่แสดงโดยรูปที่ 5 จะเห็นว่าไซรัปกล้วยหอมที่ได้จากภาวะดังกล่าว จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96.304–98.892 µm จึงอาจกล่าวได้ว่าไซรัปกล้วยหอมที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96.304 ถึง 98.892 µm จะมีเสถียรภาพ ไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำในระหว่างการเก็บรักษา

สรุปผลการทดลอง

การแปรรูปด้วยเอนไซม์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ สามารถทำได้โดยนำเนื้อกล้วยหอมบดนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์ 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

เอกสารอ้างอิง

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

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

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

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.

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.

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

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.

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.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 3

ผลของการสกัดด้วยเอนไซม์ต่อสารหน้าที่เฉพาะในฝรั่งแดง *Psidium guajava* L.

EFFECTS OF ENZYMATIC EXTRACTION ON FUNCTIONAL COMPOUNDS IN RED GUAVA *Psidium guajava* L.

โดย นางสาววสาวี ถ้วยทอง และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 3

ภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปไซรัปฝรั่งแดงด้วยเอนไซม์เพคติเนสทางการค้า (Pectinex ™Ultra SP-L)

Optimum conditions for Pectinex ™Ultra SP-L processing of red guava pulp

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการแปรรูป และสารหน้าที่เฉพาะของไซรัปฝรั่งแดง โดยใช้เอนไซม์ทางการค้ากลุ่มเพคติเนส (Pectinex™ Ultra SP-L) ช่วยในการสกัด จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปไซรัปฝรั่งแดงด้วยเอนไซม์ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด การเปลี่ยนแปลงสีแดงและสีเหลืองของไซรัปฝรั่งแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าสีแดงและค่าสีเหลือง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ภาวะที่เลือกใช้ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.75% ปริมาตรต่อน้ำหนัก ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาที ที่อุณหภูมิ 35°C ซึ่งจะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 80.93±0.15 mg glucose/g ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 9.7±0.02 °Brix ค่าสีแดง (+a*) และสีเหลือง (+b*) เท่ากับ 10.78±0.08 และ 9.74±0.15 และค่า pH เท่ากับ 3.3±0.01

บทนำ

ฝรั่งแดง มีชื่อสามัญว่า Red Guava มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Psidium guajava* L. จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae ผลทรงกลม ขนาดปานกลาง เนื้อสีชมพู กลิ่นหอม รสกลมกล่อม ให้ผลผลิตทุกฤดูกาล (เทียมใจ, 2542) หากรับประทานสดไม่ทันอาจเน่าเสีย และยังไม่มีตลาดต่างประเทศรองรับการแปรรูปทางอุตสาหกรรมยังมีไม่มาก การนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า เป็นการแก้ปัญหาที่ดีทางหนึ่ง โดยนำมาใช้เป็นสารให้กลิ่นรสเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการให้ความสนใจและมีความต้องการสารให้กลิ่นรสจากธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปัจจัยทางด้านสุขภาพและโภชนาการ ฝรั่งแดงสุกประกอบด้วยน้ำ น้ำตาล เซลลูโลส และที่สำคัญ คือ สารเพคติก เมื่อนำเนื้อมาตีปั่นจึงทำให้มีความหนืดสูงและกรองแยกน้ำยาก การสกัดน้ำฝรั่งแดงโดยการบีบคั้นธรรมดาทำได้ยากและให้ผลผลิตต่ำ การใช้เอนไซม์กับผลไม้ที่มีเนื้อมากและน้ำน้อยจะช่วยให้การสกัดทำได้ง่ายขึ้นและเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำผลไม้อันเป็นผลเนื่องมาจากการสลายของเพคตินที่จับน้ำเอาไว้(Chopra, Kashyap, Tewari และ Vohra, 2001)

เพคติเนส เป็นเอนไซม์สำคัญที่มีการนำมาใช้ในการแปรรูปผลไม้ มีการนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1930 ในอุตสาหกรรมการทำน้ำแอปเปิ้ลให้ใส ปัจจุบันเพคติเนสเป็นที่รู้จักเป็นอย่างดีในอุตสาหกรรมด้านผลไม้ เนื่องจากในผลไม้มีสารประกอบเพกทินในปริมาณ 0.5-4.0% ของน้ำหนักพืชสด (Sakai และคณะ, 1993) โดยสารประกอบเพกทินเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในกระบวนการผลิต และประโยชน์ที่สำคัญของการใช้เอนไซม์ในการแปรรูปน้ำผลไม้ คือ การย่อยเนื้อเยื่อผลไม้ และการทำให้น้ำผลไม้ใส หรือการกำจัดเพกทิน อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้เอนไซม์ในการแปรรูปน้ำผลไม้ มี 3 ประการ คือสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ ความสามารถในการย่อยสารประกอบเพกทินซึ่งขึ้นกับชนิดเอนไซม์ที่ใช้ และเพกทินที่เป็นองค์ประกอบในผลไม้ สุดท้ายคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ได้ เช่น ความใส ความขุ่น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความคงตัว

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เอนไซม์ในน้ำผลไม้ ดังนี้

Grassin และ Fauquembergue (1999) รายงานว่า ความขุ่นของน้ำผลไม้เกิดจากการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารเปกติกและโปรตีนในน้ำผลไม้ด้วยแรงดึงดูดทางประจุไฟฟ้า ทำให้สารประกบเชิงซ้อนนั้นมารวมตัวกันเป็นตะกอนซึ่งสามารถกำจัดได้โดยการกรอง หรือการปั่นเหวี่ยง กลุ่มของเอนไซม์ทางการค้าที่ประกอบด้วย เพกทิเนส เฮมิเซลลูเลส และเซลลูเลส นิยมใช้ทำน้ำผลไม้ชนิดใส ซึ่งงานวิจัยของ Yamaski และคณะ (1994) พบว่าใช้เอนไซม์กลุ่มนี้ปริมาณ 200-600 กรัมต่อแอปเปิ้ล 1 ตัน โดยใช้อัตราการกวน 40-60 rpm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ 50 °C ทำให้ได้น้ำแอปเปิ้ลที่มีความใสมากที่สุด

Alvarez และคณะ (1998) รายงานว่า ความข้นหนืดของน้ำผลไม้เกิดจากสารกลุ่มเพคติน เพราะเกิดลักษณะการจับกับน้ำได้ดีขึ้น และเกิดโครงสร้างเป็นตาข่ายแข็งแรงจึงแขวนลอยในน้ำผลไม้ทำให้ความหนืดสูง ซึ่งการสลายเพคตินโดยการทำงานของเอนไซม์จะไปลดความสามารถในการจับน้ำจึงทำให้น้ำอิสระถูกปล่อยออกจากโมเลกุลทำให้ความข้นหนืดลดลง นอกจากนี้ Alvarez และ Cheryan (1995) มีรายงานว่า น้ำผลไม้ที่มีความหนืดสูงๆ จะมีปัญหาต่อระบบการกรอง เนื่องจากเกิดการรวมกันเกิดฟองที่ผิวหน้า ทำให้ประสิทธิภาพการกรองลดลง ดังนั้นก่อนการกรองน้ำผลไม้ที่มีความหนืดสูงจึงควรใช้เอนไซม์เพื่อลดปริมาณสารโพลิแซคคาไรด์ที่ละลายได้ให้ลดลงก่อน นิยมใช้พอลิกาแล็กทูโลเนสหรือเพกเทตไลเอส ในการลดความหนืดของน้ำผลไม้ เช่น น้ำองุ่น น้ำแอปเปิ้ล น้ำส้ม เป็นต้น

ปัจจัยสำคัญในการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของเอนไซม์ โดยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลไม้แต่ละชนิดซึ่งจะให้ผลที่แตกต่าง เช่น Hassan และคณะ (1994) ได้สกัดน้ำสับปะรดโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสและเพกทิเนส ที่ภาวะความเข้มข้น 0.025% อุณหภูมิ 27-30 °C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งพบว่าได้ผลผลิตสูงถึง 81-86% ซึ่งมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้เอนไซม์ คือ 72% พบว่าการใช้เอนไซม์สกัดน้ำสับปะรดจะช่วยเพิ่มผลผลิตและลดความหนืดลงได้ นอกจากนี้ การทดลองของ Das และคณะ (2004) ได้ศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์เพกทิเนสในการทำน้ำส้มให้ใส ที่ภาวะความเข้มข้น 0.0004-0.0014 w/v% อุณหภูมิ 32-49 °C เป็นเวลา 40-141 นาที ซึ่งพบว่าการใช้เอนไซม์จะส่งผลให้ความใสเพิ่มขึ้นและช่วยลดความหนืดลงได้ ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษากระบวนการแปรรูปและสารหน้าที่เฉพาะของไซรัปฝรั่งแดง โดยใช้เอนไซม์เพคติเนสที่มีชื่อทางการค้าว่า Pectinex ™Ultra SP-L ช่วยในการสกัด โดยหาภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทางด้านกายภาพ ชีวภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส

วิธีการทดลอง

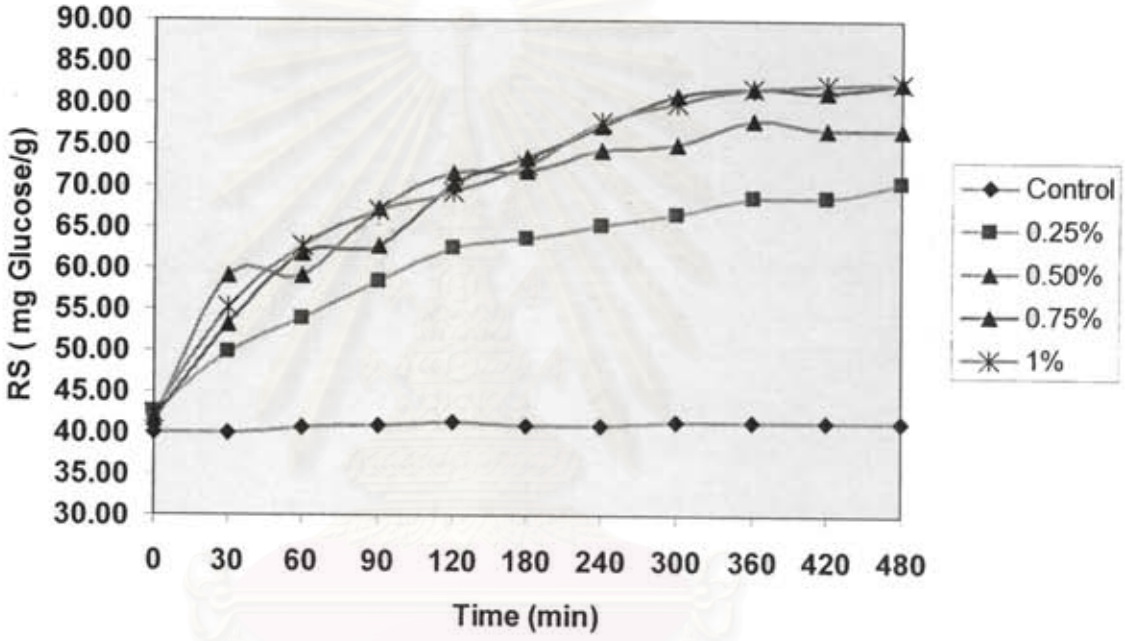
ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปไซรัปฝรั่งแดงด้วยเอนไซม์เพคติเนสทางการค้า (Pectinex ™Ultra SP-L)

ทดลองภายใต้ภาวะปลอดเชื้อในถังปฏิกิริยาแบบกวน นำเนื้อฝรั่งแดงระดับความสุกที่ 2 เติมเอนไซม์ โดยแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดงตีปนเป็น 5 ระดับ คือ 0 , 0.25 , 0.5 , 0.75 และ 1%ปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 35°C สุ่มตัวอย่างหลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 0, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 360 420 และ 480 นาที หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที วัดการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรดด่าง และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง ทำ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปไซรัปฝรั่งแดงด้วยเอนไซม์เพคติเนส

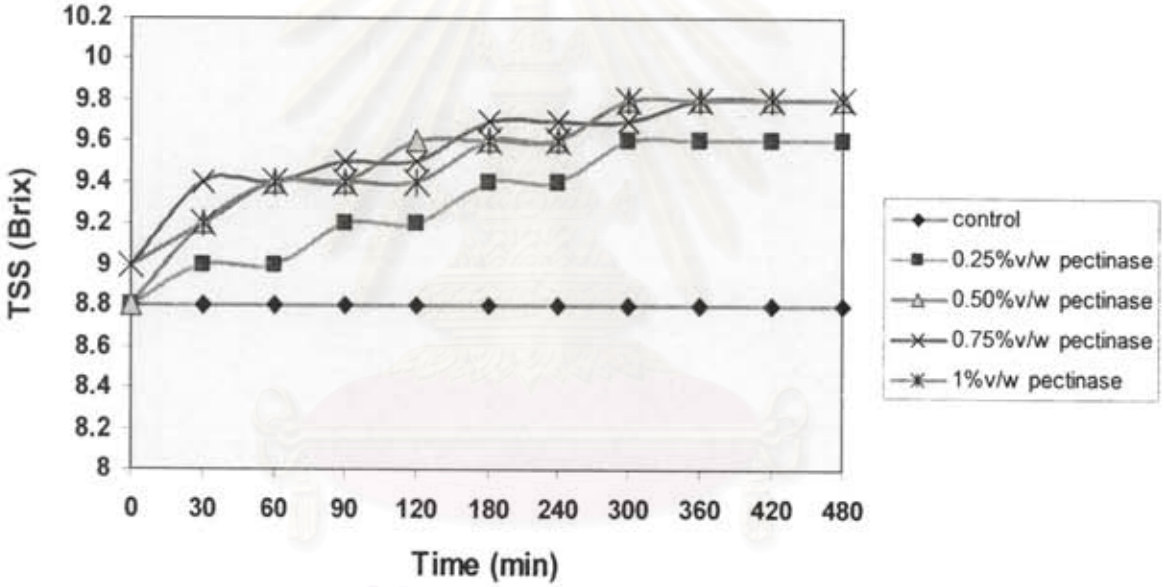
จากการทดลองหาปริมาณเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดงตีป่นและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา โดยแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดงตีป่นเป็น 5 ระดับ คือ 0 , 0.25 , 0.5 , 0.75 และ 1%ปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 35°C สุ่มตัวอย่างหลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 0, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 , 360 , 420 และ 480 นาที วัดการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด การเปลี่ยนแปลงสี และค่าความเป็นกรดด่าง แสดงดังรูปที่ 6 , 7 , 8 , 9 , 10 และ 11



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง

จากการทดลองเพื่อวัดค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปฝรั่งแดง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นด้วย เนื่องจาก Pectinex Ultra SP-L® ที่ใช้เป็นเอนไซม์ทางการค้าซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด คือ พอลิกาแลกทูโรเนส เพกเทตไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรติเอส และแอมิเลส ซึ่งในกลุ่มเอนไซม์นี้สามารถย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส อีกทั้งยังช่วยเสริมการย่อยสลายโมเลกุลต่างๆที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ได้ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้น (Whitaker, 1996) จากรูปที่ 6 พบว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อพิจารณาแนวโน้มจากกราฟพบว่าในช่วงแรกเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก็มีแนวโน้มเพิ่ม

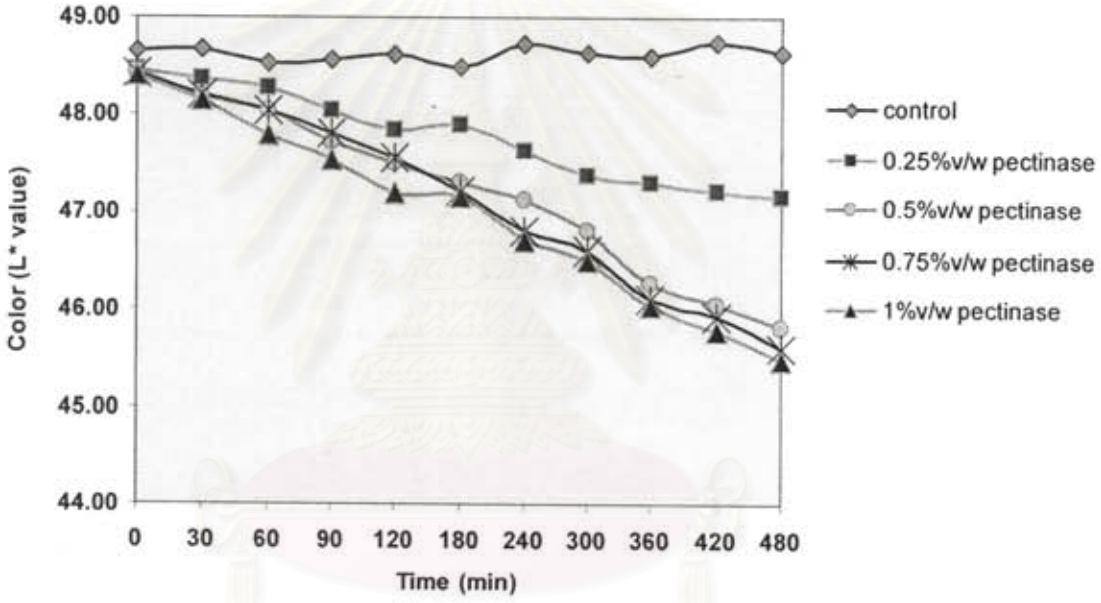
มากขึ้นด้วย ส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์เมื่อเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มที่จะคงที่ โดยการใช้เอนไซม์เพกทิเนสเข้มข้น 0.75% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 0-480 นาที เป็นภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงประมาณ 41-82 mg glucose/g ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากภาวะนี้มีค่าไม่แตกต่างกับภาวะที่ใช้เอนไซม์เข้มข้น 1% (v/w) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า การใช้เอนไซม์เพกทิเนสเข้มข้น 0.75% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 และ 360 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีค่าไม่แตกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 80.93±0.15 และ 81.91±0.18 mg glucose/g ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงขึ้นจะบ่งบอกถึงระดับการย่อยสลายที่มากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้เอนไซม์เพกทิเนสเข้มข้น 0.75% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาที ที่อุณหภูมิ 35°C



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง

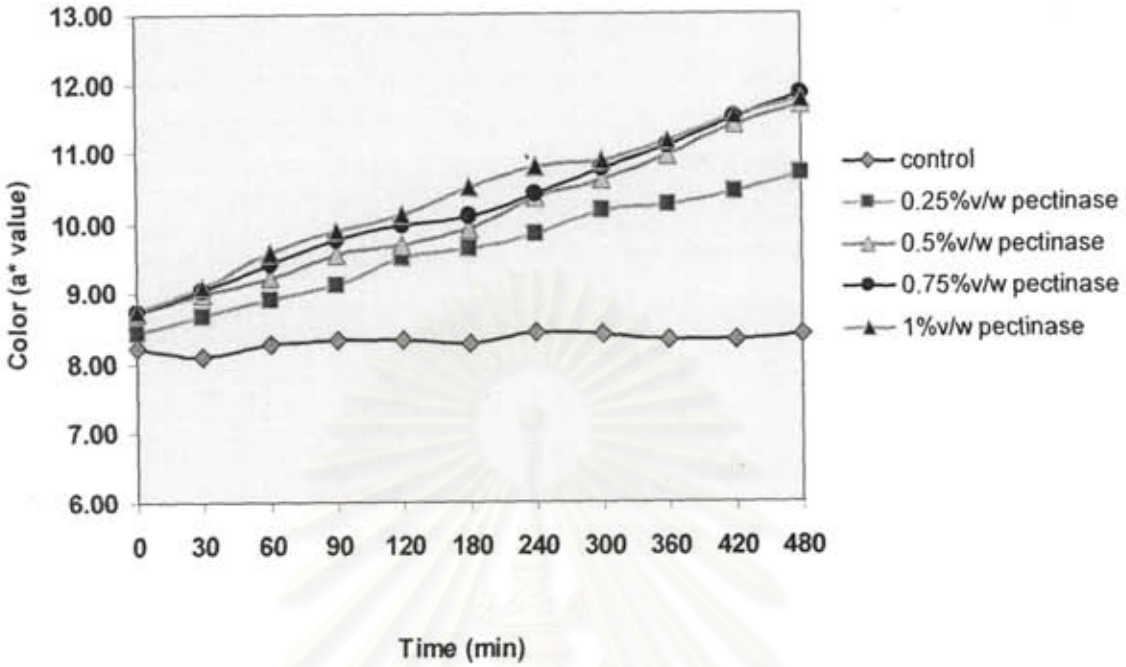
จากการทดลองเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และเมื่อถึงจุดหนึ่งจะเริ่มคงที่ เนื่องจากเอนไซม์ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ทำให้เพิ่มอัตราการละลายของสารประกอบเพกทินในน้ำผลไม้ และในขณะเดียวกันส่วนของน้ำในผลไม้จะถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายและมากขึ้น เมื่อโครงสร้างร่างแหของเพกทินที่อุ้มน้ำถูกทำให้ฉีกขาด และได้สารประกอบเพกทินที่สามารถละลายน้ำได้มากขึ้นด้วย ดังนั้น ทั้งปริมาณน้ำผลไม้และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะสูงขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Brasil , Maia และ Figueiredo (1995) ซึ่งได้ศึกษาการใช้

เพคติเนสเพื่อการสกัดและทำให้ใสในน้ำฝรั่ง และพบว่าการใช้เอนไซม์จะทำให้น้ำฝรั่งที่ได้มีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้เพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ 7 พบว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาแนวโน้มจากกราฟ พบว่า ในช่วงแรกเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก็มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย และจะเริ่มคงที่ ส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์เมื่อเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก็จะสูงขึ้นด้วย และเมื่อถึงจุดหนึ่งจะเริ่มคงที่เช่นกัน โดยที่ภาวะการใช้เอนไซม์เพกทิเนสเข้มข้น 0.75% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาที จะได้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 9.7±0.02 °Brix

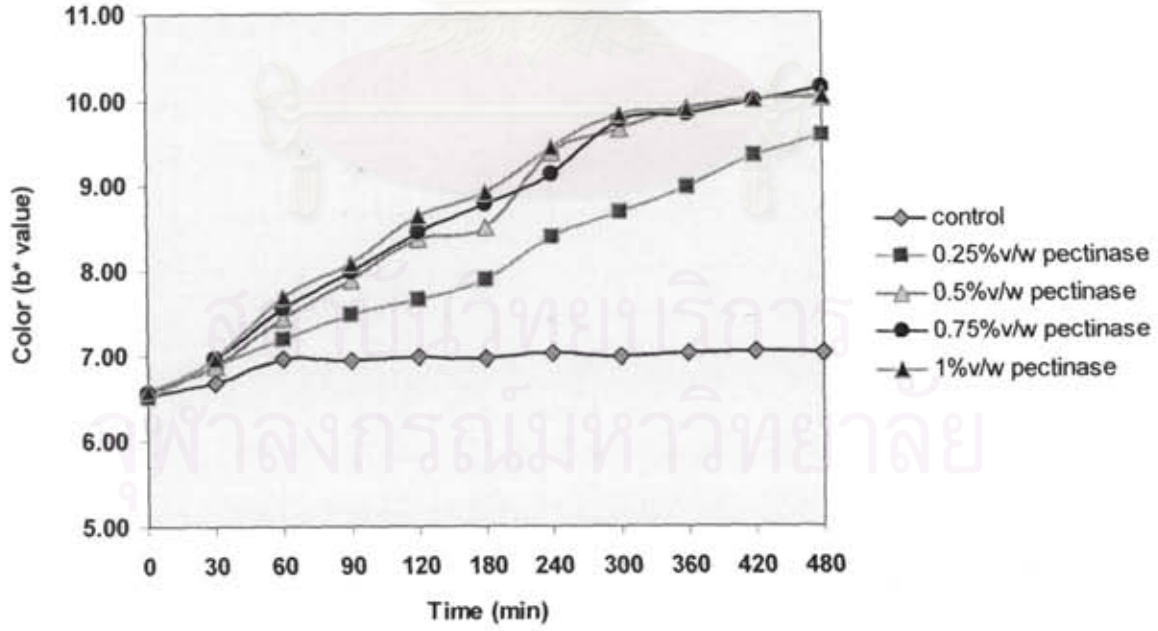


รูปที่ 8 ค่าความสว่าง (L*) ของไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



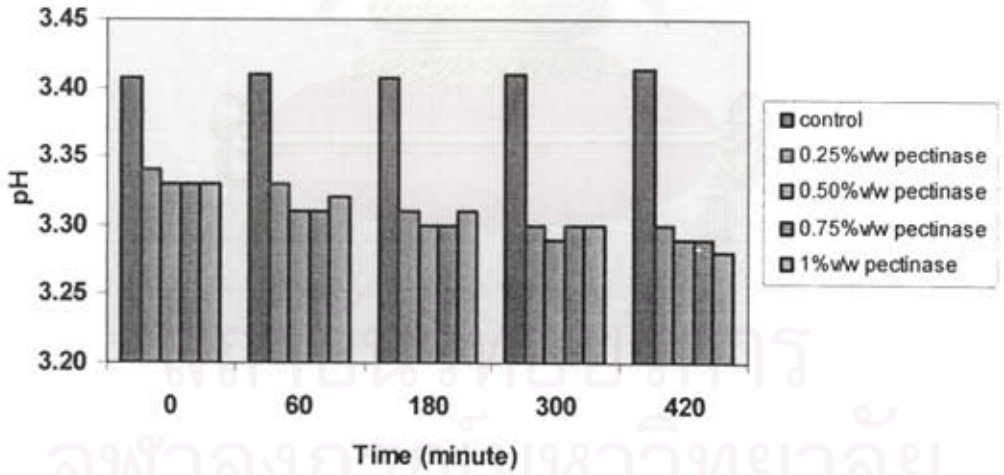
รูปที่ 9 ค่าสีแดง (a*) ของไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง



รูปที่ 10 ค่าสีเหลือง (b*) ของไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง

จากการทดลองเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงสีของไซรัปฝรั่งแดงโดยใช้เครื่อง Minolta รุ่น CR 300 ด้วยระบบ CIE LAB พบว่า เวลาและปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายเนื้อฝรั่งแดง มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (+a*) และค่าสีเหลือง (+b*) จากรูปที่ 8, 9 และ 10 พบว่า

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้มีผลต่อการลดลงและเพิ่มขึ้นของค่าการเปลี่ยนแปลงสีของไซรัปฝรั่งแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากรูปที่ 8 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นค่าความสว่างก็มีแนวโน้มลดลงด้วย ส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์เมื่อเพิ่มขึ้นค่าความสว่างก็จะลดลงด้วยและเมื่อถึงจุดหนึ่งจะเริ่มคงที่ จากรูปที่ 9 และ 10 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นค่าสีแดงและสีเหลืองก็สูงขึ้นด้วย ส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์เมื่อเพิ่มขึ้นค่าสีแดงและสีเหลืองก็จะสูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่จะคงที่เมื่อถึงจุดหนึ่ง โดยที่ค่าสีแดงจะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จาก 0.75% (v/w) เป็น 1% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาทีคือ 10.78±0.08 และ 10.87±0.14 ส่วนค่าสีเหลือง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จาก 0.75% (v/w) เป็น 1% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาที จะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน คือ 9.74±0.15 และ 9.81±0.17 ดังนั้นที่ภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.75% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาที ได้ค่าสีแดงและสีเหลืองเท่ากับ 10.78±0.08 และ 9.74±0.15 เนื่องจากเอนไซม์จะไปย่อยสลาย ทำให้เนื้อเยื่อเซลล์ผลไม้ทั้งหมดถูกทำลาย ช่วยให้เกิดการปลดปล่อยสารให้สีออกมา (Johnson, 2003) ในฝรั่งแดงจะมีไลโคพีนเป็นสารแคโรทีนอยด์ที่ให้สีแดงแก่พืช ซึ่งมีมากรองจากมะเขือเทศ (Delia, และ Padula, 1986)



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในไซรัปฝรั่งแดงที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเนื้อฝรั่งแดง

จากการทดลองหาค่า pH พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า pH ลดลง เนื่องจากเอนไซม์จะแยกหมู่เมธิลออกจากเพคตินโดยการไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์ ได้เป็น กรดเพคติก กรดเพคตินิก เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ เพกทินเอสเทอเรส (ปราณี, 2547) จากรูปที่ 11 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นค่า pH ก็มี

แนวโน้มลดลงด้วย ส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์เมื่อเพิ่มขึ้นค่า pH ก็จะลดลงด้วยเช่นกัน ที่ภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.75% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาที มีค่า pH เท่ากับ 3.3±0.01

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์ และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด การเปลี่ยนแปลงสีแดงและสีเหลืองของไซรัปฝรั่งแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าสีแดงและค่าสีเหลือง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นภาวะที่เลือกใช้ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L 0.75% (v/w) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 300 นาที ที่อุณหภูมิ 35°C ซึ่งจะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 80.93±0.15 mg glucose/g ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 9.7±0.02 °Brix ค่าสีแดง (+a*) และสีเหลือง (+b*) เท่ากับ 10.78±0.08 และ 9.74±0.15 และค่า pH เท่ากับ 3.3±0.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

เทียมใจ คมกฤส. 2542. กายวิภาคของพฤกษ์. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาพฤษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

Alvarez, J.R., and Cheryan, M., 1995. Food and beverage industry application. In R.D. Noble and S.A. Stern, (eds.), Membrane separation technology principles and applications, 443–465. London : Elsevier.

Alvarez, S., Alvarez, R., Coca, J., and Riera, F. A. 1998. Influence of depectinization on apple juice ultrafiltration, Colloids and Surfaces : Physicochemical and Engineering Aspects , 377–382

Brasil, I.B., Maea, G.A., and Figueiredo, R.W.D. 1995. Physical-chemical changes during extraction and clarification of guava juice. Food chemistry, 54(4):383-386.

Chopra, S., Kashyap, D.R., Tewari, R., and Vohra, P.K. 2001. Applications of pectinases in the commercial sector: A review. Bioresour Technology, 77: 215-227.

Das, G.S., De, S., Majumdar, G. C., and Rai, P. 2004. Optimizing pectinase usage in pretreatment of mosambi juice for clarification by response surface methodology. Journal of Food Engineering, 64 (3): 397-403.

Delia, B. R., and Padula, M. 1986. Characterisation of the carotenoids and assessment of the vitamin a value of Brasilian guavas (*Psidium guajava* L.). Food Chemistry. 20(1):11-19

Grassin, C., Fauquembergue, P. 1999. Enzymes, fruit juice processing. In M.C. Flickinger and S.W. Drew (eds.), Encyclopedia of bioprocess technology, fermentation, biocatalysis, bioseparation,1030–1061. New York : John Wiley and Sons, Inc.

Hassan, K.S., Kadambi, R.S., and Krishnaswamy, S., 1994. Improvement of juice recovery from pineapple pulp/residue using cellulases and pectinases. Journal of Fermentation and Bioengineering, 78(6), 486-488.

Johnson, J. 2003. Phytochemical functional foods. 257-268. New York : CRC Press.

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.

Whitaker, J. R. 1996. Enzyme in Food Chemistry. O. R. Fennema Marcel (ed.). 431-530. New York:Dekker, Inc.

Yamaski, M., Yasui, T. and Arima, K. 1994. Pectic enzymes in the clarification of apple juices. Part I. Study on the clarification reaction in a simplified model. Agricultural and Biology Chemistry, 28, 779–787

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 4

การผลิตด้วยเอนไซม์และการหาลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูม

CorreaEnzymatic Production and Characterization of Bael Fruit *Aegle marmelos* (L.) Correa Syrup

โดย นางสาวสุวิมล เจริญสิทธิ์ และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 3

กระบวนการแปรรูปไซรัปมะตูมด้วยเอนไซม์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการแปรรูปไซรัปมะตูม โดยใช้เอนไซม์กลุ่มเพกทิเนส รวมทั้งศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพของไซรัปมะตูม จากการทดลองแปรรูปไซรัปมะตูมด้วยเอนไซม์เพกทิเนส (Pectinex Ultra SP-L®, 10292 PGU/ml) โดยทำปฏิกิริยาในขวดแก้วสีชา แบบ batch ควบคุมอุณหภูมิที่ 30±2°C และกวนผสมด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที แปรความเข้มข้นเอนไซม์ในช่วง 1.0-3.0% (v/w) และแปรระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 0-6 ชั่วโมง พบว่า การใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 2.5% (v/w) ระยะเวลาการย่อย 0, 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง สามารถแบ่งระดับการย่อยเนื้อมะตูมด้วยเอนไซม์โดยประเมินในค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ 5 ช่วง โดยประมาณ คือ 39, 55, 68, 77 และ 85 mg glucose/ g fresh weight จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูมในช่วงดังกล่าวพบว่า ไซรัปมะตูมที่เวลาการย่อย 2 ชั่วโมงขึ้นไป จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าไซรัปที่ได้จากภาวะอื่นๆ ส่วนไซรัปที่เวลาการย่อย 6 ชั่วโมง จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กที่สุดคือ 79.92 μm และไซรัปที่ได้จากทุกภาวะจะมีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ที่ขึ้นกับเวลา (thixotropic) โดยเมื่อระยะเวลาการย่อยมากขึ้น ไซรัปจะมีค่า yield stress (τ_o) และ flow behaviour index (n) มากขึ้น แต่มีค่า consistency coefficient (K) และ apparent viscosity (η) ที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} ลดลง

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสนใจผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทสารสกัดจากผักและผลไม้ จากข้อมูลด้านลักษณะเด่นของมะตูมสุกที่มีเนื้อสีส้มอมเหลือง มีกลิ่นรสหอมหวาน ประกอบด้วยสารเมือก โดยมีสารหน้าที่เฉพาะและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญหลายชนิด (Morton, 1987; Roy and Khurdiya, 1995) จะเห็นว่ามะตูมจัดเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นสารสกัด เพื่อพัฒนาเป็นสารปรุงแต่งสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสในอาหาร การผลิตสารสกัดจากผักและผลไม้ด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนส ย่อยสลายเพกทินที่อยู่ในชั้นผนังเซลล์พืช จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดของเหลวต่างๆ รวมทั้งสารให้สี กลิ่น รสและสารหน้าที่เฉพาะ (ปราณี, 2547; Pilnik and Voragen, 1993; Mutlu et al., 1999) โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการกรองแยกกากหรือใยอาหารออก ทำให้สารสกัดที่ได้ยังคงองค์ประกอบเดิมไว้ และเพิ่มองค์ประกอบใหม่ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ สามารถใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ (functional food) เช่น ไอศกรีม เครื่องดื่ม ธัญพืชชนิดแท่ง (cereal bar) และผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ รวมทั้งใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว ความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัสแบบอิมัลชันในอาหาร เพื่อทดแทนการใช้สารสังเคราะห์ สะดวกต่อการใช้งาน และเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไซรัปมะตูมโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้าคือ Pectinex Ultra SP-L® (10292 PGU/ml) และศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพของไซรัปที่ได้ เพื่อเพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์และการแปรรูปมะตูมสู่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ได้ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ที่มีความเป็นสากลเป็นที่ยอมรับมากขึ้นทั้งในและต่างประเทศ

วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

มะตูมแก่จัดพันธุ์ไข่จากจังหวัดพิจิตรที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 30±2°C เป็นเวลา 10 วัน และควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยเติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.3% (w/w) ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเดือดจนจุดกึ่งกลางของเนื้อมะตูมมีอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที

2. ศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เพกทิเนสในการแปรรูปไซรัปมะตูม

แปรรูปไซรัปมะตูมจากเนื้อมะตูมบดด้วยเอนไซม์เพกทิเนสทางการค้าคือ Pectinex Ultra SP-L® (10292 PGU/ml) ทำปฏิกิริยาในขวดแก้วสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร แบบ batch ควบคุมอุณหภูมิที่ 30±2°C และกวนผสมด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ความเข้มข้น 1.0-3.0% (v/w) เวลาการย่อยนาน 0-6 ชั่วโมง ติดตามการทำงานของเอนไซม์ โดยพิจารณาระดับการย่อยสลายเนื้อ

มะตูมที่ประเมินจากค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ (Nelson, 1944) วางแผนการทดลองแบบ Factorial 5x8 in CRD

3. ศึกษาลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูมที่ได้

นำไซรัปมะตูมที่ได้ในช่วงดังกล่าวมาศึกษาลักษณะเฉพาะ โดยวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Gross, 1991; Talcott and Howard, 1999) วัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Ltd., Worcestershire, UK) และศึกษาพฤติกรรมการไหลของไซรัปมะตูมด้วยเครื่อง Rheometer (C-VOR Bohlin Instruments, UK) วางแผนการทดลองแบบ CRD

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 12.0, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

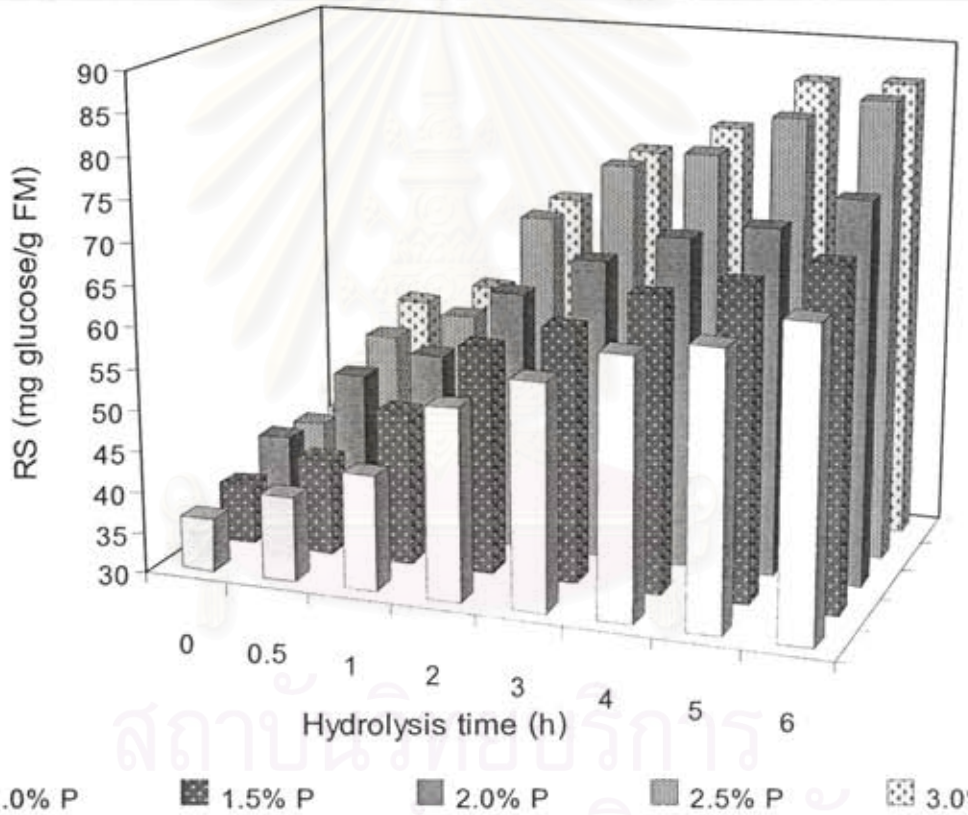
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ภาวะการใช้เอนไซม์เพกทิเนสในการผลิตไซรัปมะตูม

จากการติดตามการทำงานของเอนไซม์ โดยพิจารณาระดับการย่อยเนื้อมะตูมด้วยเอนไซม์ที่ประเมินจากค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ แสดงผลในรูปที่ 12 และ ตารางที่ 6 พบว่า ไซรัปมะตูมที่ได้จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาการย่อย ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการทำงานของเอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส ที่ย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ตามลำดับ ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ ทั้งนี้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® ที่ใช้ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น พอลิกาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรติเอส และอะไมเลส ซึ่งสามารถช่วยย่อยสลายโมเลกุลต่างๆที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ได้ดีขึ้น (Grohmann and Baldwin, 1992; Fanta et al., 1992; Mutlu et al., 1999; Sreenath et al., 1999)

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปมะตูมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

Enzyme concentration (% v/w)	Reducing sugar (mg glucose/g FW)							
	Hydrolysis time (h)							
	0	0.5	1	2	3	4	5	6
1.0	$36.37^{r}\pm1.78$	$40.30^{o,p,q,r}\pm2.30$	$44.02^{n}\pm1.41$	$53.20^{k,l}\pm2.59$	$57.31^{i,j}\pm1.16$	$61.45^{h}\pm1.93$	$63.32^{g,h}\pm1.47$	$67.05^{d,e,f,g}\pm0.53$
1.5	$37.48^{q,r}\pm1.66$	$41.77^{n,o}\pm2.27$	$48.58^{m}\pm3.34$	$57.53^{i,j}\pm3.31$	$60.81^{h,i}\pm2.44$	$65.61^{f,g}\pm3.15$	$67.76^{d,e,f}\pm3.27$	$70.89^{c,d}\pm2.28$
2.0	$40.43^{n,o,p,q}\pm1.02$	$49.37^{m,n}\pm1.12$	$52.88^{k,l,m}\pm0.05$	$61.42^{h}\pm1.81$	$66.21^{e,f,g}\pm1.79$	$69.93^{c,d,e}\pm2.33$	$71.88^{c}\pm2.42$	$75.90^{b}\pm2.12$
2.5	$39.25^{o,p,q,r}\pm0.45$	$51.71^{l,m,n}\pm0.17$	$55.26^{j,k,l}\pm1.27$	$68.35^{c,d,e,f}\pm0.54$	$75.58^{b}\pm2.42$	$77.84^{b}\pm0.31$	$82.89^{a}\pm3.66$	$85.47^{a}\pm3.90$
3.0	$38.30^{p,q,r}\pm1.79$	$53.74^{j,k,l}\pm1.58$	$56.44^{i,k}\pm1.23$	$68.57^{c,d,e,f}\pm2.31$	$75.45^{b}\pm1.31$	$79.10^{b}\pm2.39$	$85.56^{a}\pm2.78$	$85.98^{a}\pm2.84$



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปมะตูมที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ (กำหนดให้ตัวอักษร P หมายถึง เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® และตัวเลขเป็นเปอร์เซนต์หน้าตัวอักษรแสดงถึงความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้)

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารสกัด ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ แสดงผลในตารางที่ 6 พบว่า การใช้เอนไซม์เพกทิเนสเข้มข้น 2.5% (v/w) ระยะเวลาการย่อยนาน 0-6 ชั่วโมง เป็นภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงกว้าง สามารถแบ่งเป็น 5 ช่วง โดยประมาณคือ 39, 55, 68, 77 และ 85 mg glucose/g FM ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากภาวะ

นี้มีค่าไม่แตกต่างกับภาวะที่ใช้เอนไซม์เข้มข้น 3.0% (v/w) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ระยะเวลาการย่อยที่ 0, 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงขึ้นจะบ่งบอกถึงระดับการย่อยสลายที่มากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้เอนไซม์เพกทิเนสเข้มข้น 2.5% (v/w) ระยะเวลาการย่อย 0, 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง เป็นตัวแทนในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลายเนื้อมะตูมด้วยเอนไซม์ที่มีต่อลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูมที่ได้ต่อไป

2. **ลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูม**

จากการติดตามผลของการย่อยเนื้อมะตูมด้วยเอนไซม์ที่ระดับต่างๆ ที่มีต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด แสดงผลในตารางที่ 7 พบว่า ไซรัปมะตูมที่เวลาการย่อย 2 ชั่วโมงขึ้นไป จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าไซรัปที่ได้จากภาวะอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดแคโรทีนอยด์โดยใช้เอนไซม์กลุ่มเพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส จะช่วยสลายผนังเซลล์พืชและปลดปล่อยแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์หรือโครโมพลาสต์ และอยู่ในของเหลวภายในเซลล์ (cell fluids) ออกมา ทำให้ง่ายต่อการสกัด (Pilnik and Voragen, 1993; Mutlu et al., 1999; Sun et al., 2006) โดยแคโรทีนอยด์ที่ได้จะอยู่ในรูปธรรมชาติ (natural state) กล่าวคือ แคโรทีนอยด์ยังคงจับกับโปรตีน กรดไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในส่วนใยอาหารต่างๆ ซึ่งแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในรูปนี้จะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสลายตัว ส่งผลให้แคโรทีนอยด์ที่ได้มีความเสถียรมากขึ้น (Çinar, 2005)

เมื่อพิจารณาผลของการย่อยเนื้อมะตูมด้วยเอนไซม์ที่ระดับต่างๆ ที่มีต่อขนาดอนุภาคของไซรัปมะตูมพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการย่อย ไซรัปที่ได้จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลาการย่อย 6 ชั่วโมง ไซรัปจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากเอนไซม์เพกทิเนสที่ใช้จัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบ เพกทิน ทำให้ได้พอลิเมอร์ของเพกทินที่สั้นลง (Baumann, 1981; Al-Hooti et al., 2002) ส่งผลให้ขนาดอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูมที่ระดับการย่อยสลายต่างๆ

Hydrolysis time (h)	Total carotenoids (µg/g FM)	Particle size (µm)	Flow behavior			
			τ_o (Pa)	K (Pa.s^n)	n	η (100 s^{-1}) (Pa.s)
0	$6.47^{c}\pm0.18$	$84.51^{a}\pm0.29$	$10.74^{b}\pm2.48$	$28.78^{a}\pm0.30$	$0.34^{c}\pm0.01$	$1.49^{a}\pm0.35$
1	$7.14^{b}\pm0.18$	$82.76^{b}\pm0.58$	$28.15^{a}\pm0.71$	$14.93^{b}\pm1.18$	$0.38^{b}\pm0.00$	$1.14^{b}\pm0.21$
2	$8.01^{a}\pm0.15$	$82.26^{b}\pm0.54$	$29.08^{a}\pm1.99$	$13.23^{b}\pm0.94$	$0.39^{b}\pm0.00$	$1.07^{b,c}\pm0.00$
4	$8.11^{a}\pm0.36$	$81.40^{c}\pm0.12$	$29.52^{a}\pm1.76$	$9.78^{c}\pm0.06$	$0.41^{a,b}\pm0.01$	$0.94^{c,d}\pm0.05$
6	$8.09^{a}\pm0.44$	$79.92^{d}\pm0.06$	$28.33^{a}\pm2.35$	$7.66^{d}\pm0.03$	$0.44^{a}\pm0.02$	$0.85^{d}\pm0.06$

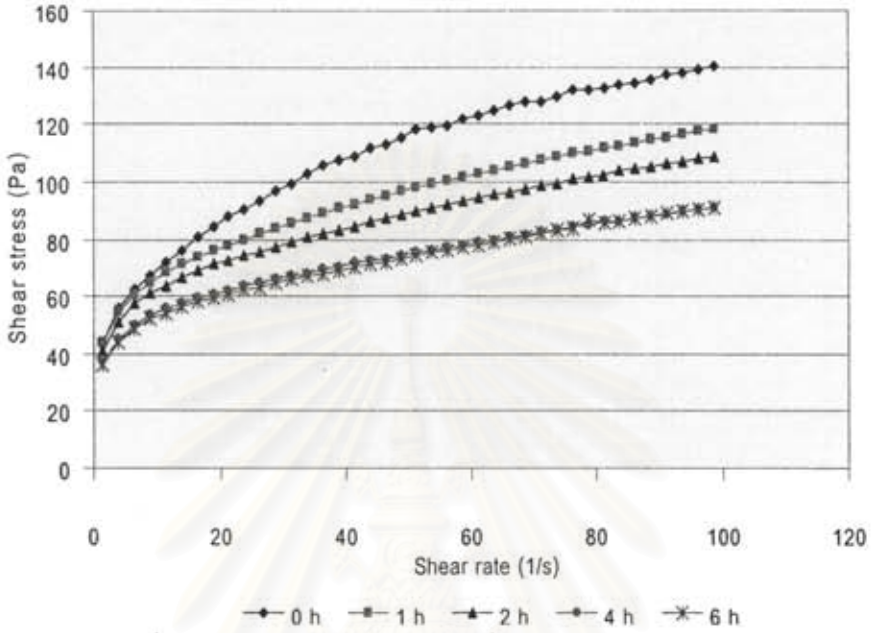
หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการติดตามผลของการย่อยเนื้อมะตูมด้วยเอนไซม์ที่ระดับต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมการไหลของไซรัปมะตูม พบว่า ไซรัปที่ได้มีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic with yield stress (มีค่า n<1) ที่ทุกเวลาการย่อย แสดงผลในกราฟรูปที่ 13 โดยจะมีค่าความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนหรือแสดงสมบัติเป็น shear thinning และมีลักษณะการไหลแบบ thixotropic (มีพื้นที่ระหว่าง up curves กับ down curves) คือ เมื่ออัตราเฉือนคงที่ ค่าความหนืดจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น หลังจากระยะเวลาหนึ่งความหนืดจะกลับเข้าสู่ค่าเริ่มต้น จากตารางที่ 7 จะเห็นว่าไซรัปที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ จะมีค่า yield stress (τ_o) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ค่า yield stress คือ แรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้ของเหลวเริ่มไหลได้ แสดงว่าเมื่อเนื้อมะตูมมีระดับการย่อยมากขึ้น ลักษณะอนุภาคในสารสกัดจะมีการยึดจับกันด้วยแรงมากขึ้น เนื่องมาจากเพกทินที่ถูกย่อยสลายมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ในลักษณะที่แข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้ของเหลวเริ่มไหลได้ (Deman et al., 1976; Brummer, 2006) ส่วนค่า consistency coefficient (K) และค่า flow behaviour index (n) จะมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ตามลำดับ เมื่อไซรัปมีระดับการย่อยมากขึ้น การที่ค่า n มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าไซรัปมะตูมมีพฤติกรรมการไหลใกล้เคียงกับ Newtonian มากขึ้น (McKenna, 2003; Sharoba et al., 2005) เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของสารสกัดที่ได้กับสารเพิ่มความคงตัวและความหนืดในอาหาร พบว่า ไซรัปมะตูมมีพฤติกรรมการไหลคล้ายกับสารในกลุ่มแซนแทนกัมและคาราจีแนน โดยมีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic with yield stress และมีลักษณะการไหลแบบ thixotropic (Marcotte et al., 2001; Sharma et al., 2007)

เมื่อคำนวณหาค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) ที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} พบว่า เนื้อมะตูมที่มีระดับการย่อยมากขึ้น จะมีค่าความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้มีคุณสมบัติย่อยสลายสารประกอบเพกทิน ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง น้ำที่อยู่ภายในเซลล์จะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้ค่าความหนืดลดลง (Bhattacharya and Rastogi, 1998; Lee et al., 2006; Abdullah et al., 2007)



รูปที่ 13 Flow curve ของไซรัปมะตูมที่ระดับการย่อยสลายต่างๆ

สรุปผลการทดลอง

การผลิตไซรัปมะตูมด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้เอนไซม์กลุ่มเพกทิเนสที่ความเข้มข้น และระยะเวลาการย่อยต่างๆ ย่อยสลายสารประกอบเพกทิน ส่งผลให้สารสกัดที่ได้มีลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน โดยพบว่าการใช้เอนไซม์เข้มข้น 2.5% (v/w) ระยะเวลาการย่อย 0, 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง จะมีระดับการย่อยที่ประเมินในค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ 5 ช่วง โดยประมาณ คือ 39, 55, 68, 77 และ 85 mg glucose/ g fresh mass จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของสารสกัดที่ได้ในช่วงดังกล่าวพบว่า สารสกัดจากมะตูมที่เวลาการย่อย 2 ชั่วโมงขึ้นไป จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าสารสกัดที่ภาวะอื่นๆ ส่วนที่เวลาการย่อย 6 ชั่วโมง สารสกัดจากมะตูมจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กที่สุด และสารสกัดจากมะตูมทุกภาวะจะมีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ที่ขึ้นกับเวลา (thixotropic) โดยเมื่อเวลาการย่อยมากขึ้น สารสกัดที่ได้จะมีค่า yield stress (τ_o) และ flow behaviour index (n) มากขึ้น แต่มีค่า consistency coefficient (K) และ apparent viscosity (η) ที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} ลดลง จากลักษณะเฉพาะของสารสกัดดังกล่าว ทำให้เกิดแนวทางการนำสารสกัดไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ และใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว ความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัสแบบอิมัลชัน

เอกสารอ้างอิง

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

Abdullah, A. G. L., Sulaiman, N. M., Aroua, M. K., and Megat Mohd Noor, M. J. 2007. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. Journal of Food Engineering. 81: 65-71.

Al-Hooti, S. N., Sidhu, J. S., Al-Saqer, J. M., and Al-Othman, A. 2002. Chemical composition and quality of date syrup as affected by pectinase/cellulose enzyme treatment. Food Chemistry. 79: 215-220.

Baumann, J. W. 1981. Application of enzymes in fruit juice technology. In G.G. Birch, N. Blakebrough, and K.J. Parker (ed.), Enzymes and Food Processing, pp. 129-146. England: Applied Science Publishers.

Bhattacharya, S. and Rastogi, N. K. 1998. Rheological properties of enzyme-treated mango pulp. Journal of Food Engineering. 36: 249-262.

Brummer, R. 2006. Rheology Essentials of Cosmetic and Food Emulsions. Heidelberg: Springer.

Çinar, I. 2005. Effects of cellulase and pectinase concentrations on the colour yield of enzyme extracted plant carotenoids. Process Biochemistry. 40: 945-949.

Deman, J. M., Voisey, P. W., Rasper, V. F., and Stanley, D. W. 1976. Rheology and Texture in Food Quality. Westport, Connecticut: The AVI Publishing company.

Fanta, N., Quaas, A., Zulueta, P., and Pérez, L. M. 1992. Release of reducing sugars from *Citrus* seedlings, leaves and fruits. Effect of treatment with pectinase and cellulase from *Alternaria* and *Trichoderma*. Phytochemistry. 31(10): 3359-3364.

Grohmann, K. and Baldwin, E. A. 1992. Hydrolysis of orange peel with pectinase and cellulase enzymes. Biotechnology Letters. 14(12): 1169-1174.

Gross, J. 1991. Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids. New York: Van Nostrand Reinhold.

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.

Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., and Ramaswamy, H. S. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. Food Research In ternational. 34: 695-703.

McKenna, B. M. 2003. Texture in Food. Cambridge : Woodhead Publishing Limited.

Morton. J. F. 1987. Fruits of Warm Climates. Winterville, N.C.: Creative Resource Systems Inc.

Mutlu, M., Sarioğlu, K., Demir, N., Ercan, M. T., and Acar, J. 1999. The use of commercial pectinase in fruit juice industry. Part I: viscosimetric determination of enzyme activity. Journal of Food Engineering. 41: 147-150.

Nelson, N. 1944. Determination of glucose. Journal Biological and Chemistry. 153: 375- 380.

Pilnik, W. and Voragen, A. G. J. 1993. Pectic enzymes in fruit juice and vegetable juice manufacture. In Reeds, G. (ed.), Enzymes in Food Processing, pp. 363-399. New York: Academic Press.

Roy, S. K. and Khurdiya, D. S. 1995. Other subtropical fruit. In D.K. Salunkhe; S. S. Kadam (ed.), Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing, pp. 539-543. New York: Marcel Dekker.

Sharma, B. R., Dhuldhoya, N. C., Merchant, S. U., and Merchant, U. C. 2007. Hydrocolloids: Efficient Rheology Control Additives. Science Tech Entrepreneur. February Issue: 1-9.

Sharoba, A. M., Senge, B., El-Mansy, H.A., Bahlol, H. ElM., and Blochwitz, R. 2005. Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups. European Food Research and Technology. 220: 142-151.

Sreenath, H. K., Koegel, R. G., Jeffries, T. W., and Straub, R. J. 1999. Enzymic saccharification of alfalfa fibre after liquid hot water pretreatment. Process Biochemistry. 35: 33-41.

Sun, Y., Wang, Z., Wu, J., Chen, F., Liao, X., and Hu, X. 2006. Optimising enzymatic maceration in pretreatment of carrot juice concentrate by response surface methodology. International Journal of Food Science and Technology. 41: 1082-1089.

Talcott, S. T. and Howard, L. R. 1999. Phenolic Autooxidation is Responsible for Color Degradation in Processed Carrot Puree. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47: 2109-2115.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 5
ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน จากไฮโดรไลเสตของมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L.

EFFECT OF ENZYMES ON EMULSION STABILIZING PROPERTIES OF NHAM DOK MAI MANGO *Mangifera indica* L. FRUIT HYDROLYSATE

โดย นางสาวเกวลี ครุณาสวัสดิ์ และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 3

ภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า (Pectinex™ Ultra SP-L)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า (Pectinex™ Ultra SP-L) และศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผลิตได้ จากการศึกษาการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า (Pectinex™ Ultra SP-L) ปริมาณ 0.5–2.0% ปริมาตรต่อน้ำหนัก นาน 0–6 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์มีผลต่อขนาดโมเลกุลของเพกทินโดยเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L จะย่อยสลายโมเลกุลของเพกทินให้มีขนาดเล็กลง ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และความมีขั้วของโมเลกุลเพกทินเพิ่มขึ้น เมื่อศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผลิตได้ พบว่าภาวะที่อิมัลชันคงตัวไม่เกิดการแยกชั้น คือที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L 0.5% ปริมาตรต่อน้ำหนัก นาน 300 นาที และ 1.0% ปริมาตรต่อน้ำหนัก นาน 90 นาที

บทนำ

ผลิตภัณฑ์อาหารทั้งจากธรรมชาติ และผ่านกระบวนการแปรรูปส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอิมัลชัน หรือมีการเปลี่ยนสภาพเป็นอิมัลชันในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น นม ครีม มายองเนส น้ำสลัด และไอศกรีม เป็นต้น (McClements, 1999)

อิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ เมื่อเวลาผ่านไปอิมัลชันจะเกิดการแยกชั้นโดยชั้นน้ำมันซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นต่ำอยู่ด้านบน และชั้นน้ำซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นสูง

อยู่ด้านล่าง ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชันจำเป็นต้องมีเสถียรภาพสูง เพื่อให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย และอยู่ร่วมกับวัฒนธรรมการบริโภคของไทยมาแต่โบราณ มีกลิ่นรสเป็นเอกลักษณ์ เนื้อมีสีเหลืองทอง มีคุณค่าทางโภชนาการ และประกอบด้วยสารที่มีหน้าที่เฉพาะที่สำคัญหลายชนิด เช่น เพกทิน แคโรทีน และวิตามินต่าง ๆ (Budi, Ahmad และ Judy, 2001; Cano และ Begona, 1994; Sakho, 1998) สำหรับสารที่มีหน้าที่เฉพาะที่มีปริมาณมาก และโดดเด่นในมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้แก่ เพกทิน จากรายงานของกองโภชนาการ (2530) พบว่าเนื้อมะม่วงสุกประกอบด้วยเพกทิน 1.1%โดยน้ำหนัก เพกทินมีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ประกอบด้วยหมู่ไฮโดรโฟบิก และหมู่ไฮโดรฟิลิก สามารถกระจายตัวในน้ำ เพิ่มความหนืดให้กับวัฏภาคน้ำ ลดโอกาสการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน และเพกทินยังสามารถเกิดพันธะกับโปรตีนช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับอาหารระบบอิมัลชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) แต่เนื่องจากเพกทินที่ได้จากการบีบคั้นธรรมดาจะมีสายพอลิเมอร์ยาวแสดงความมีขั้วน้อยทำให้ไม่สามารถแสดงสมบัติของสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชัน ขีดจำกัดของการใช้เพกทินสามารถลดลงได้โดยการใช้เอนไซม์เพกทิเนสย่อยสลายโมเลกุลของเพกทินให้เล็กลง และเพิ่มความมีขั้วให้กับโมเลกุลของเพกทิน ได้สัดส่วนที่สมดุลระหว่างหมู่ไฮโดรโฟบิก และไฮโดรฟิลิกช่วยรักษาเสถียรภาพของอิมัลชัน ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เพกทินเป็นสารเพิ่มเสถียรภาพในผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชัน มีดังนี้

Akhtar และคณะ (2002) ศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันเมื่อใช้เพกทินที่มีดีกรีเอสเทอร์ริฟิเคชัน 70% เป็นสารเพิ่มความคงตัว พบว่าเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุล 70 $kgmol^{-1}$ ซึ่งได้จากการย่อยสลายด้วย Rheozyme™ 10 PEU/ml ช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันเรพซีด (rapeseed oil) 20 %โดยปริมาตร ที่ pH 4.7 ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลอื่น

Leroux และคณะ (2003) ศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันของเพกทินจากเปลือกส้ม และชูการ์บีท พบว่าเพกทินจากเปลือกส้ม และชูการ์บีทมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำมันจากเปลือกส้มกับน้ำ เมื่อเปรียบเทียบสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ของเพกทินจากเปลือกส้มกับกัมอะราบิกซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารพบว่า เพกทินจากเปลือกส้มความเข้มข้น 2%โดยน้ำหนัก ให้อิมัลชันที่มีเสถียรภาพใกล้เคียงกับกัมอะราบิกความเข้มข้น 15%โดยน้ำหนัก

Shri, Albert และ Marc (1998) ศึกษาสมบัติของเพกทินในมะเขือเทศ พบว่าเพกทินที่มีดีกรีเอสเทอร์ริฟิเคชัน 33.3% มีสมบัติเป็นสารเพิ่มความคงตัวในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ และได้อิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงสุดเมื่อใช้น้ำมัน 30%

จากฐานข้อมูลข้างต้นนำไปสู่งานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการผลิตไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า (Pectinex™ Ultra SP-L) และศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้ รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) ที่เตรียมจากกะทิ เพื่อเป็นวิถีทางการประยุกต์ข้อมูลการเกิดอิมัลชันกับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทครีมข้น เช่นสังขยา มายองเนสผสมเนื้อผลไม้ และน้ำสลัดที่มีสี กลิ่น รสมะม่วงน้ำดอกไม้

3. วิธีการทดลอง

1. **ศึกษาการผลิตไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า** (Pectinex™ Ultra SP-L)

นำเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ตีปั่นที่เตรียมโดยเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 %น้ำหนักต่อปริมาตรร่วมกับการลวกด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 5 นาที เติมลงในถังปฏิกรณ์แบบกวนอุณหภูมิ 35°C เติมเอนไซม์เพกทิเนสโดยแปรสัดส่วนของเอนไซม์เพกทิเนสเป็น 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% ปริมาตรต่อน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างหลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 0, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 และ 360 นาที โดยใช้เทคนิคปลอดเชื้อ วางแผนการทดลองแบบ 4X9 Factorial ในแผนการทดลอง CRD

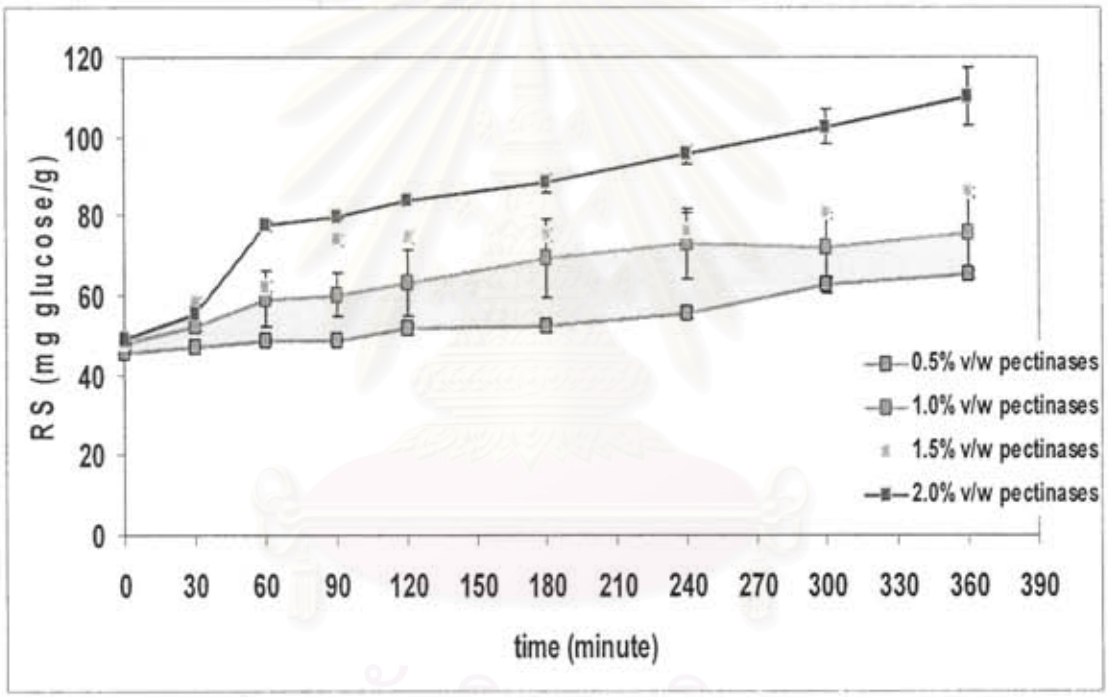
2. **ศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า** (Pectinex™ Ultra SP-L)

นำไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผลิตได้จากข้อ 1 มาศึกษาลักษณะการเกิดอิมัลชันตามวิธีการ Maa และ Hsu (1996) ตามขั้นตอนดังนี้ เติมโซเดียมเอไซด์ในไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลาย เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ แล้วเติมกะทิที่มีไขมัน 16-19% โปรตีน 1-3% นำไฮโดรไลเสตที่ได้ไปโฮโมจีไนซ์ที่ความเร็วรอบ 16000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที โดยใช้เทคนิคปลอดเชื้อ วัดค่าการเกิดครีม (% creaming index) โดยนำตัวอย่าง 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลา 7 วัน วัดความสูงของอิมัลชันทั้งหมด (H_E) และความสูงของสารละลายใสที่แยกชั้นอยู่ด้านล่าง (H_S) คำนวณค่าการเกิดครีมจากสูตร ค่าการเกิดครีม เท่ากับ $(H_S/H_E) \times 100$ (McClements และ Demetriades, 1998) เลือกภาวะที่มีค่าการเกิดครีมน้อยที่สุด วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. **การผลิตไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า** (Pectinex™ Ultra SP-L)

เมื่อปริมาณเอนไซม์เพกทิเนส และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่14 ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด คือมีพอลิกาแลกทูโรเนส เพกเทตไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรติเอส และแอมิเลสจะย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกของเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547; Sreenath และคณะ, 1995; Whitaker, 1996)

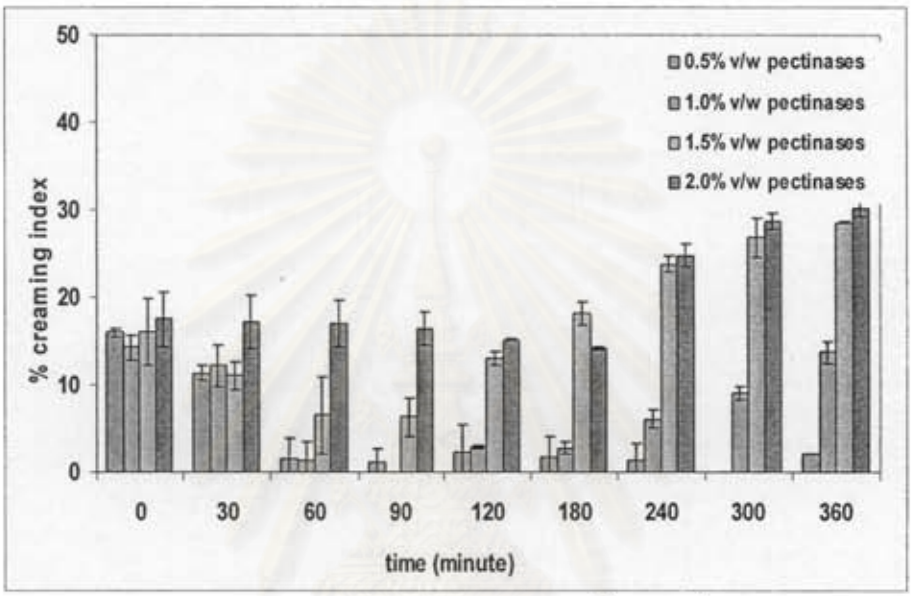


รูปที่ 14 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

2. **ศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า** (Pectinex™ Ultra SP-L)

ภาวะที่อิมัลชันมีเสถียรภาพ ไม่เกิดการแยกชั้น คือภาวะที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.5% ปริมาตรต่อน้ำหนัก ทำปฏิกิริยา 300 นาที และที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 1.0 %ปริมาตรต่อน้ำหนัก ทำปฏิกิริยา 90 นาที แสดงดังรูปที่ 15 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนส และเอนไซม์เพกทินเอสเทอเรสซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L โดย

เอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนสจะไปไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิลในสารประเภทเพกทิน และเอนไซม์เพกทินเอสเทอเรสจะเร่งปฏิกิริยาการแยกหมู่เมธิลจากสารประกอบเพกทินที่มีการเติมหมู่เมทธิลที่หมู่คาร์บอกซิล ทำให้เพกทินที่ได้มีขั้วเพิ่มมากขึ้น ได้สัดส่วนที่สมดุลระหว่างหมู่ไฮโดรโฟบิก และไฮโดรฟิลิก ทำให้อิมัลชันที่ได้มีเสถียรภาพไม่แยกชั้น (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547; Dalgleish และ Hollocou, 1997; Dickinson และคณะ, 1998; McClements และคณะ, 2006)



รูปที่ 15 ค่าการเกิดครีม (%creaming index) ในไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

5. สรุปผลการทดลอง

เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า (Pectinex™ Ultra SP-L) จะย่อยสลายโมเลกุลของเพกทิน ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลของเพกทินที่ได้จะมีขนาดเล็กลง และมีขั้วเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สำหรับเสถียรภาพของอิมัลชัน พบว่าปริมาณขั้วของโมเลกุลเพกทินที่ได้จากการย่อยสลายโดยเอนไซม์ Pectinex™ Ultra SP-L มีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน โดยที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.5% ปริมาตรต่อน้ำหนัก นาน 300 นาที และ 1.0% ปริมาตรต่อน้ำหนัก นาน 90 นาที เป็นภาวะที่อิมัลชันคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้น

6. เอกสารอ้างอิง

Akhtar, M., Dickinson, E., Mazoyer, J. and Langendorff, V. 2002. Emulsion stabilizing properties of depolymerized pectin. Food Hydrocolloids. 16: 249-256.

Budi, S., Ahmad, S. and Judy, A. E. 2001. Carotenoid content of selected Indonesian fruit. Journal of Food Composition and Analysis. 14: 169-176

Cano, M. P. and Begona de Ancos. 1994. Carotenoid and carotenoid ester composition in mango fruit as influenced by processing method. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 42: 2737-2742.

Dalgleish, D. G. and Hollocou, A. L. 1997. Stabilization of protein-based emulsions by means of interacting polysaccharide. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.

Dickinson, E., Semenova, M. G., Antipova, A. S. and Pelan, E. G. 1998. Effect of high-methoxy pectin on properties of casein-stabilized emulsions. Food Hydrocolloids. 12: 425-432.

Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G. and Mazoyer, J. 2003. Emulsion stabilizing properties of pectin. Food Hydrocolloids. 17: 455-462

Maa, Y. F. and Hsu, C. 1996. Liquid-liquid emulsification by rotor/ stator homogenization. Journal of Controlled Release. 38: 219-228.

McClements, D. J. and Demetriades, K. 1998. An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 38(5): 511.

McClements, D. J. 1999. Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques. Florida: CRC Press.

McClements, J., Decker, E. A. and Surh, J. 2006. Influence of pectin type on properties and stability of sodium-caseinate stabilized oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids. 20: 607-618..

Sakho, M., Chassagne, D., Chiarazzo, E. and Crouzet, J. 1998. Enzymatic maceration: Effects on volatile components of mango pulp. Journal of Food Science. 63(6): 975.

Shri, K. S., Albert, L. and Marc, L. M. 1998. Molecular characterization, physico-chemical and functional properties of tomato fruit pectin. Food Research International. 30(7): 543-547.

Sreenath, H. K., Sudarhana, K. R. and Santhanam, K. 1995. Enzymatic liquefaction of some varieties of mango pulp. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 28: 196-200.

Whitaker, J. R. 1996. Enzyme in Food Chemistry. O. R. Fennema Marcel (ed.). New York: Dekker, Inc.

โภชนาการ, กอง. 2530. ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารของส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.กรุงเทพมหานคร: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. ไฮโดรคอลลอยด์. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

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

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 6

การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากพุทราพันธุ์สามรส

Ziziphus mauritiana Lam.

ENZYMATIC EXTRACTION AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF DIETARY FIBER FROM JUJUBE *Ziziphus mauritiana* Lam.

โดย นางสาวชมัยพร แรงกลาง และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 2

ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซิเลจผงจากพุทรา

Study of functional properties of mucilage powder from Jujube

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซิเลจผง ที่ได้จากพุทราพันธุ์สามรส โดยนำมาเปรียบเทียบกับกัวกัมและแซนกัม จากการวัดค่าสีพบว่ามิวซิเลจผงมีค่าความสว่างสูงกว่ากัวกัมแต่ต่ำกว่าแซนแทนกัม ความสามารถในการอุ้มน้ำของมิวซิเลจผงมีค่าเท่ากับ 73.35 กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง สำหรับแซนแทนกัมและกัวกัม ไม่สามารถวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้ เนื่องจากสารละลายทั้งสองรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำอย่างแท้จริง ค่าการดูดซับน้ำมันพบว่ามิวซิเลจผงมีค่าการดูดซับ น้ำมันเท่ากับ 4.97 กรัมน้ำมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งมากกว่ากัวกัมและแซนแทนกัม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้พบว่ามิวซิเลจผงจากพุทรามีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่นเท่ากับ 52.2 % โดยมีค่าน้อยกว่าแซนแทนกัมและกัวกัมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

บทนำ

สมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของใยอาหาร โดยใยอาหารชนิดละลายน้ำมีความชอบในการจับกับน้ำสูง เพราะมี sugar residure ที่มี free polar group ซึ่งใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อลดการเกิดการเยิ้มน้ำ (syneresis) ปรับปรุงเนื้อสัมผัส และความหนืดในอาหารได้ (Lariom และคณะ, 2004) โดยใยอาหารละลายน้ำนั้นมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมาก ดังการ ศึกษาของ Grigelmo-Miguel และ Martin-Belloso (1999) ที่พบว่า ส้มสายพันธุ์ Salustiana มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของใยอาหารละลายน้ำมากที่สุด ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil holding capacity) ของใยอาหาร Larrauri และคณะ (1996) พบว่า ใยอาหารจากเปลือกมะม่วงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 11.4 g oil/ g dry matter นอกจากนั้นใยอาหารยังมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่น (Emulsion capacity) ซึ่ง Rwashda (1998) ใน Saenz และคณะ (2004) ศึกษาความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของ มิวซิเลจกัมจาก *Opuntia ficus indica* พบว่า มิวซิเลจกัม ช่วยลด surface และ interfacial tension ทำให้อิมัลชันของน้ำและน้ำมันมีความเสถียรและไม่เกิดการ flocculate ในระบบ

วิธีการทดลอง

วิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของผงเมือก

1. **สี**

นำมิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มาวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR-400 เปรียบเทียบกับกัวกัม และแซนแทนกัม

2. **ความสามารถในการอุ้มน้ำ** (Water Holding Capacity)

นำมิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มาวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ เปรียบเทียบกับกัวกัม และแซนแทนกัม โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Chau and Cheung (1998) และ Raghavendra et al. (2004) โดยชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร กวนด้วย magnetic stirrer นาน 15 นาที เหวี่ยงแยกสารละลายผสมด้วยความเร็ว 2,200 x g นาน 30 นาที เทส่วนใสทิ้ง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปียก และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105^{0} C นาน 5 ชม. ชั่งน้ำหนักแห้งที่ได้ โดยความสามารถในการอุ้มน้ำคำนวณจาก

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำ/ กรัมตัวอย่างแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก – น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

3. **ค่าการดูดซับน้ำมัน** (Oil Absorption)

นำมิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มาวัดค่าการดูดซับน้ำมัน เปรียบเทียบกับกัวกัม และแซนแทนกัม โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Raghavendra et al. (2007) และโดยชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดสำหรับเหวี่ยงแยก เติมน้ำมันพืช 10 มิลลิลิตร ผสมด้วย vortex mixer นาน 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 3,000 x g นาน 30 นาที รินส่วนใสออก คว่ำหลอดทิ้งไว้ 1 นาที และชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ดูดน้ำมันไว้ โดยค่าการดูดซับน้ำมันคำนวณจาก

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ดูดน้ำมันไว้} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

4. **ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่น** (Emulsion Capacity)

นำมิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มาวัดความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่น เปรียบเทียบกับกัวกัม และแซนแทนกัม โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Obatolu et al. (2006) โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำมันพืช 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำให้เป็นอิมัลชั่น โดยใช้เครื่อง homogenizer นาน 1 นาที และนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 4,100 rpm นาน 5 นาที วัดความสูงของชั้นอิมัลชั่นเทียบกับความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมด

$$\text{ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่น (\%)} = \frac{\text{ความสูงของชั้นอิมัลชั่น}}{\text{ความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมด}} \times 100$$

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. **ค่าการวัดสี**

จากตารางที่ 8 พบว่า มิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มีค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่าแซน-แทนกัม แต่มีค่าสูงกว่ากัวกัม

ตารางที่ 8 ค่าสีของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
มิวซิเลจผง	88.10±0.06	-1.55±0.02	12.08±0.09
แซนแทนกัม	90.77±0.06	-0.72±0.02	9.95±0.01
กัวกัม	84.15±0.08	-0.75±0.03	12.56±0.22

** หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Hunter color value : L^* = Lightness (100 = light, 0 = dark)

a^* = + show redness, - show greenness

b^* = + show yellowness, - show blueness

2. **ความสามารถในการอุ้มน้ำ** (Water Holding Capacity, WHC)

จากผลการทดลอง พบว่า มิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 73.35 กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง ส่วนแซนแทนกัมและกัวกัม ไม่สามารถวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้ ดังตารางที่ 9 เนื่องจาก สารละลายทั้งสองรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำอย่างแท้จริง (true solution) ซึ่งไม่สามารถเหวี่ยงแยกสารละลายผสมได้

ตารางที่ 9 ความสามารถในการอุ้มน้ำของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม

ตัวอย่าง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำ/ กรัมตัวอย่างแห้ง)
มิวซิเลจผง	73.35 ± 1.55
แซนแทนกัม	-
กัวกัม	-

** หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. **ค่าการดูดซับน้ำมัน** (Oil Absorbtion)

จากผลการทดลอง พบว่า มิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มีค่าการดูดซับน้ำมันน้ำมันสูงที่สุดคือ 4.97 กรัมน้ำมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง ตามด้วยแซนแทนกัมและกัวกัม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.74 และ 0.55 กรัมน้ำมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ โดยค่าการดูดซับน้ำมันของมิวซิเลจผงมีค่ามากกว่าแซนแทนกัมและกัวกัมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 10 โดยค่าการดูดซับน้ำมันเป็นการแสดงสมบัติการดูดซับน้ำมันบนพื้นผิวของตัวอย่าง

ตารางที่ 10 ค่าการดูดซับน้ำมันของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม

ตัวอย่าง	ค่าการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง)
มิวซิเลจผง	4.96 ± 0.05^{a}
แซนแทนกัม	0.79 ± 0.05^{b}
กัวกัม	0.57 ± 0.03^{c}

** หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. **ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่น** (Emulsion Capacity)

จากผลการทดลอง พบว่า มิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่นน้อยที่สุดคือเท่ากับ 52.22 % ดังตารางที่ 11 ซึ่งแซนแทนกัมเป็นตัวทำให้เกิดอิมัลชั่นที่ดีมากจึงไม่เกิดการแยกชั้นของของเหลวเมื่อนำมาทำการเหวี่ยงแยก โดยความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่นของ มิวซิเลจผงมีค่าน้อยกว่าแซนแทนกัมและ กัวกัมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 11 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่นของมิวซิเลจผง แซนแทนกัม และกัวกัม

ตัวอย่าง	ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่น (%)
มิวซิเลจผง	52.2 ± 0.48^{c}
แซนแทนกัม	100.0 ± 0.00^{a}
กัวกัม	59.7 ± 0.48^{b}

** หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุปผลการทดลอง

มิวซิเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มีค่าความสว่างน้อยกว่าแซนแทนกัม แต่มีค่าสูงกว่ากัวกัม ความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 73.35 กรัมน้ำ/ กรัมตัวอย่างแห้ง ค่าการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 4.97 กรัมน้ำมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งมีค่าสูงกว่าแซนแทนกัมและกัวกัม และมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชั่นเท่ากับ 52.22 % ซึ่งน้อยกว่าแซนแทนกัมและกัวกัม

เอกสารอ้างอิง

Chau, C. F., and Chueng, P. C. K. 1998. Functional properties of flours prepared from three Chinese indigenous legume seeds. Food Chemistry. 61(4): 429-433

Grigelmo-Miguel, N., and Martin-Belloso, O. 1999. Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. Food Research International. 31(5):355-366

Larrauri, J.A., Ruprrez, B., and Suara-Calixto, F. 1996. Mango peels as a new tropical fibre: preparation and characterization. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 29:729-733

Lariom, Y., Sendra, E., Garcia-Perez, C. F., Sayas-Barbera, E., and Fernandez-Lopez, J., (2004). Preperation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 5:113-117

Obatolu, V. A., Fasoyiro, S. B., and Ogunsunmi, L. 2006. Processing and functional properties of yam beans (*Sphenostylis Stenocarpa*). Journal of Food Processing and Preservation. 31:240-249

Raghavendra, S.N., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., and Tharanathan, R.N. (2004). Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. European Food Research and Technology. 218:563–567

Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Sourav, K., and Tharanathan, R.N. 2006. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. Journal of Food Engineering. 72: 281-286.

Rwashda, H. 1998. New gums as emulsifiers from *Opuntia ficus Indica* (OFI). M.Sc. Thisis.

Saenz, C., Sepulveda, E., and Matsuhiro, B. 2004. Opuntia spp mucilage' s: functional component with industrial perspectives. Journal of Arid Environments. 57: 275-290.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 7

ผลของการใช้เอนไซม์ต่อสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose

EFFECTS OF ENZYMATIC TREATMENT ON BIOACTIVE COMPOUNDS FROM SKIN AND FLESH OF RED DRAGON FRUIT *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose

โดย น.ส. กรรณิการ์ สอนโยธาและ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 1
คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงสำหรับเป็นวัตถุดิบ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ แก้วมังกรแดงแบ่งเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่1 (ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวของแก้วมังกร 10 วัน) ระยะที่ 2 (ระยะการเก็บเกี่ยวของแก้วมังกร) และระยะที่ 3 (นำระยะที่ 2 มาบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน) โดยแยกเป็น 2 ส่วน คือเนื้อ และเปลือก วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมี พบว่า ส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกในระยะที่ 2 มีค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน เท่ากับ 2.66 และ 1.94 µg / µg DPPH และค่า reducing sugar 36.38 และ 23.48 mg glucose/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่สภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) มีค่า pH 4.60 และ 4.69 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด 0.30 และ 0.09 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็น 6.37 และ 2.20 °Brix ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแก้วมังกรแดง

บทนำ

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose เป็นพืชในวงศ์ Cactaceae ปลูกกันมากที่จังหวัดราชบุรี นครปฐมและจันทบุรี ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีสีแดงสดอยู่ในส่วนที่เป็นเนื้อและเปลือก และมีใยอาหารกลุ่มเพคตินและมิวสิเลจจำนวนมาก (นฤมล มานิพพาน, 2548) น่าจะเป็นแหล่งของวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติแหล่งใหม่ได้ จากการค้นคว้า

พบว่าพืชในวงศ์ Cactaceae มีสารให้สีที่สำคัญคือ Betacyanin ซึ่งให้สี red – violet ที่สามารถใช้ทดแทน FD&C Red #40 ซึ่งเป็นสีสังเคราะห์ที่มีการบริโภคมากที่สุดในอเมริกา โดยก่อนหน้านี้ได้มีการสกัดสีจากรากของต้น Red beet (*Beta vulgaris*) หรือ beet root ซึ่งมีสารให้สีที่สำคัญในกลุ่ม Betacyanin มาใช้เป็นสีผสมอาหารโดยสีมีความปลอดภัย และมีการนำมาใช้เพื่อการค้า เช่น แต่งสีโยเกิร์ต หรือ ไอศกรีม เป็นต้น แต่ beet root มีราคาค่อนข้างสูงและหาได้ยากในประเทศไทย สำหรับผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง ประโยชน์ คือ ช่วยรักษาความผิดปกติของต่อมไร้ท่อต่างๆ มีฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด ช่วยให้ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดฟื้นตัวเร็ว มีคุณสมบัติเป็น Prebiotic ซึ่งเป็นอาหารของ Probiotic ที่เป็นจุลินทรีย์ที่ช่วยปรับสมดุลในลำไส้ ช่วยในระบบขับถ่าย ช่วยควบคุมน้ำหนักตัว ลดไขมันเนื่องจากมีเส้นใยจำนวนมากและให้แคลอรี่ต่ำ คุณค่าทางอาหารในผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่มีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม ประกอบด้วยสารอาหารสำคัญดังต่อไปนี้ คือ พลังงาน 59 kcal น้ำ 85.38 % โปรตีน 1.27 กรัม ไขมัน 0.68 กรัม คาร์โบไฮเดรต 11.87 กรัม เถ้า 0.80 กรัม วิตามินอี 0.35 มิลลิกรัม วิตามินบี1 0.06 มิลลิกรัม วิตามินบี2 0.03 มิลลิกรัม ไนอาซีน 0.18 มิลลิกรัม (นฤมล, 2548) นอกจากสารอาหารแล้วในผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงยังประกอบด้วย สี เพคติน และมิวซิเลจ (Stintzing และคณะ, 2002)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแก้วมังกรพันธ์เนื้อสีแดงสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยจะนำลักษณะเด่นของแก้วมังกรแดงทั้งสีและแอกทิวิตีของสารด้านออกซิเดชัน มาใช้ประโยชน์แนวหนึ่งที่น่าสนใจ ในการเพิ่มมูลค่าแก่แก้วมังกรแดงเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ประกอบด้วย สีแดงม่วงของแก้วมังกรแดง และสารพรีไบโอติกที่ละลายได้ สามารถนำมาใช้เป็นสารปรุงแต่งเพื่อทดแทนการใช้วัตถุปรุงแต่งอาหารสังเคราะห์ รวมทั้งเพิ่มมูลค่าให้กับแก้วมังกรแดง

การดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 350 – 450 กรัมต่อผล จากสวนในจังหวัดจันทบุรี ล้างทำความสะอาด

2. คัดเลือกระยะที่เหมาะสมของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบ

แบ่งแก้วมังกรออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่มีอายุ 35 – 40 วัน

ระยะที่ 2 แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่มีอายุ 45 – 50 วัน (เป็นระยะการเก็บเกี่ยวของแก้วมังกร)

ระยะที่ 3 แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่มีอายุ 55 – 60 วัน (นำระยะที่ 2 มาบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน)

แต่ละระยะของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง นำมาแยกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อ และส่วนที่เป็นเปลือก เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี

3. **วิเคราะห์ค่าทางเคมี** ได้แก่ ความเป็นกรด (Total acidity) (AOAC, 2000) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Nelson, 1994) ความเป็นกรด-เบสโดยการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meterและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด(Total soluble solid: °brix)โดยใช้ Hand refractometer Atago รุ่น N-1α 0-32°Brix

4. **การทดสอบแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี** DPPH (Cai และคณะ, 2005)

การทดสอบแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน ในเนื้อและเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงสดด้วยวิธีที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical-scavenging activity) โดยใช้ DPPH เป็นสารอนุมูลอิสระ มีขั้นตอนตามวิธีของ Cai และคณะ (2005)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเป็นกรด-เบสโดยการวัดค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด

จากการทดลองพบว่าระยะการเก็บเกี่ยวมีผลต่อค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด โดยในส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกค่าต่างๆ ดังกล่าวก็มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 12 และ 13 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกมีค่าลดลงและ pH มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในระหว่างการสุกของผลไม้ เนื่องจากปริมาณกรดอินทรีย์ในผลไม้ เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในวัฏจักรเครบ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดในผลไม้จะลดลง มีผลให้ค่า pH เพิ่มมากขึ้น (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993) ในระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันยังพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) มีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลไม้เมื่อแก่เต็มที่จะมีแป้งสะสมปริมาณมาก เมื่ออัตราการหายใจของผลไม้เพิ่มสูงขึ้นแป้งที่สะสมอยู่ในผลไม้จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล ผลไม้จึงมีรสหวานเพิ่มขึ้น สำหรับค่า reducing sugar จากตารางพบว่า ที่ระยะที่ 2 มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นระยะที่ 3 และ 1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าต่างๆที่ได้วิเคราะห์ในส่วนที่เป็นเนื้อจะมีค่ามากกว่าส่วนที่เป็นเปลือก เนื่องจากส่วนที่เป็นเนื้อจะประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อที่มีปริมาณของแป้งและน้ำตาลอยู่สูงกว่าส่วนที่เป็นเปลือก จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นส่งผลให้เลือกระยะที่ 2 เป็นวัตถุดิบนำไปวิเคราะห์การทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 12 แสดงองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของส่วนที่เป็นเนื้อของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง

ระยะของเนื้อแก้วมังกร	Total acidity (%)	Reducing sugar (mg glucose/g)	pH	Total soluble solids (°Brix)
1	$0.330^{a} \pm 0.029$	$27.222^{c} \pm 0.003$	$4.13^{b} \pm 0.21$	$4.60^{b} \pm 0.25$
2	$0.297^{a} \pm 0.029$	$36.381^{a} \pm 0.002$	$4.60^{a} \pm 0.03$	$6.37^{a} \pm 0.15$
3	$0.221^{b} \pm 0.029$	$32.556^{b} \pm 0.020$	$4.72^{a} \pm 0.39$	$7.63^{a} \pm 0.37$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 13 แสดงองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง

ระยะของเปลือกแก้วมังกร	Total acidity (%)	Reducing sugar (mg glucose/g)	pH	Total soluble solids (°Brix)
1	$0.162^{a} \pm 0.029$	$4.790^{c} \pm 0.005$	$4.67^{b} \pm 0.13$	$1.80^{b} \pm 0.13$
2	$0.090^{b} \pm 0.029$	$23.482^{a} \pm 0.006$	$4.69^{b} \pm 0.11$	$2.20^{b} \pm 0.22$
3	$0.082^{b} \pm 0.029$	$19.568^{b} \pm 0.003$	$5.30^{a} \pm 0.31$	$3.54^{a} \pm 0.50$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. แอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH

จากการทดลองหาค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน จากส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง ด้วยวิธี DPPH ซึ่งจะแสดงในค่า EC_{50} สำหรับส่วนที่เป็นเนื้อในระยะต่างๆมีค่าเท่ากับ 2.45 ± 0.28, 2.66 ± 0.34 และ2.31 ± 0.36 µg / µg DPPH ตามลำดับ และส่วนที่เป็นเปลือกมีค่าเท่ากับ1.87 ± 0.33, 1.94 ± 0.21 และ1.09 ± 0.47 µg / µg DPPH ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะที่ 2 มีค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันสูงกว่าที่ระยะอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังในตารางที่ 14 และยังแสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จาก 2 ส่วนมีค่าแตกต่างกัน นั่นคือ ส่วนที่เป็นเนื้อจะมีค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน สูงกว่าที่มีอยู่ในเปลือก เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน จากความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีและแอกทิวิตีของ betalains ที่เป็น free radical scavenging activity โดยปกติจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของ hydroxyl/imino groups และยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ hydroxyl group และ glycosylation ของ aglycones ในโมเลกุลของ betalain โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงตำแหน่ง C-5 ของ hydroxyl group บน aglycones ในโมเลกุลของ betalain เป็นส่วนที่สำคัญในการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตี แต่ถ้ามี

glycosylation ของ aglycones เป็นส่วนใหญ่ในโมเลกุลก็จะทำให้แอกทิวิตีลดลงอย่างชัดเจน (Cai และคณะ, 2005)

ตารางที่ 14 แสดงค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ที่ได้จากส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง

ค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน DPPH assay (EC_{50}, µg / µg DPPH)		
ระยะที่	ส่วนที่เป็นเนื้อ	ส่วนที่เป็นเปลือก
1	$2.45^{b} \pm 0.28$	$1.87^{a} \pm 0.33$
2	$2.66^{a} \pm 0.34$	$1.94^{a} \pm 0.21$
3	$2.31^{b} \pm 0.36$	$1.09^{b} \pm 0.47$

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่เป็นส่วนเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกในระยะที่ 2 มีค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน เท่ากับ 2.66 และ 1.94 µg / µg DPPH และค่า reducing sugar 36.38 และ 23.48 mg glucose/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่สภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) มีค่า pH 4.60 และ 4.69 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด 0.30 และ 0.09 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็น 6.37 และ 2.20 °Brix ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแก้วมังกรแดงนอกจากนี้ยังพบว่าระยะการเก็บเกี่ยวมีผลต่อค่าต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น

เอกสารอ้างอิง

นฤมล มานิพพาน. 2548. แก้วมังกร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สลี ปันยารชุน. 2522. สีผสมอาหาร:การวิเคราะห์สิ่งที่เติมลงในอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the AOAC International. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.

Cai, Y. Z., and Corke, H. 1999. Amaranthus betacyanin pigments applied in model food systems. Journal of Food Science 44: 869-873.

Cai, Y. Z., and Corke, H. 2000. Production and properties of spray dried Amaranthus betacyanin pigments. Journal of Food Science 65: 1248-1252.

Cai, Y. Z., Sun, M., and Cork, H. 2005. Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. Trends in Food Science & Technology 16: 370-376.

Henry, B. S. 1992 Natural Food Colours. In Hendry, G. A. F. and Houghton, J. D. (Eds.), Natural Food Colorants pp. 39-77. Blackie, Glassgow.

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

Nitithan, S., Nichachotsalid, A., and Komindr, S. 2004. Phytate and Fiber Content in Thai Fruits Commonly Consumed by Diabetic patients. Journal Medicene Association Thai 87: 1444-1446.

Stintzing, F. C., Schieber, A. and Carle, R. 2002. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus*. Food Chemistry 77: 101-106.

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Zevallos, L. C., 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.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 8
การสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป
***Cucumis melo* var. *cantalupensis* พันธุ์ซันเลดี้ด้วยเอนไซม์**
ENZYMATIC EXTRACTION OF FUNCTIONAL SUBSTANCES FROM CANTALOUPE
***Cucumis melo* var. *cantalupensis* HYBRID SUNLADY**
โดย น.ส. นัฏฐพร วุฒิสิทธิ์และ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 1
คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้สำหรับเป็นวัตถุดิบ

บทคัดย่อ

การคัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ แคนตาลูปบ่มเป็น 3 ระดับ ระดับที่1 (ไม่บ่ม) ระดับที่ 2 (บ่มเป็นเวลา 1 สัปดาห์) ระดับที่ 3 (บ่มเป็นเวลา 2 สัปดาห์) โดยแยกเป็น 2 ส่วน คือ เนื้อ และรก (กากใยติดกับเมล็ด) วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมี พบว่าทั้ง 2ส่วน เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด ดังนี้ ส่วนเนื้อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 9.10-9.30 °Brix ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 36.64-38.62 mg glucose/ g fresh mass (FM) และค่าความเป็นกรดด่าง ช่วง 6.18-6.24 สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด 0.11-0.17 % ส่วนของรก มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 11.90-12.10 °Brix ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 21.74-23.04 mg glucose/ gFM mg และค่าความเป็นกรดด่าง ช่วง 6.85-6.93 สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด 0.22-0.28 % ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป

บทนำ

แคนตาลูป เป็นแตงเทศชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูล *Cucurbitaceae* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo* var. *cantalupensis* เป็นพืชล้มลุกประเภทไม้เลื้อย ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกันกับแตงไทย แต่ความทนทานต่อการขนส่งได้ดีกว่าแตงไทย ซึ่งเป็นผลไม้ที่สามารถบ่มให้สุกได้ (climateric fruit) โดยปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวบอกคุณภาพของแตงที่ดีขึ้นด้วย (Villanueva และคณะ, 2004) คุณค่าทางอาหารของแคนตาลูปต่อ100 กรัม ของส่วนที่รับประทานได้ มีดังนี้ ความชื้น 91.2 กรัม พลังงาน 30.0 แคลอรี่ ไขมัน 0.1 กรัม คาร์โบไฮเดรต 7.5 กรัม เส้นใย 0.3 กรัม โปรตีน 0.7 กรัม แคลเซียม 14.0 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 16.0 มิลลิกรัม เหล็ก 0.4 มิลลิกรัม วิตามินเอ

3400.0 หน่วย วิตามินบี1 0.04 มิลลิกรัม วิตามินบี2 0.03 มิลลิลิตร ไนอะซีน 0.60 มิลลิกรัม และ วิตามินซี 33.0 มิลลิกรัม (กมลทิพย์ ดำสีนิล, 2537) แคนตาลูปที่รู้จักกันมีหลากหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ซันเลดี้ วีนัส ฮันนี่ดิว และ ฮันนี่เวิลด์ งานวิจัยนี้เลือกพันธุ์ซันเลดี้ (Sun lady)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำลักษณะเด่นของแคนตาลูปทั้งกลิ่นรส สี และใยอาหาร มาใช้ประโยชน์แนวหนึ่งที่น่าสนใจ ในการเพิ่มมูลค่าแก่แคนตาลูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยเทคนิคการใช้เอนไซม์ เพคติเนส เซลลูเลส และ เฮมิเซลลูโลส ในการสกัด ได้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย กลิ่นรส สี ส้มของแคนตาลูปสด และสารพรีไบโอติกที่ละลายได้สามารถนำมาใช้เป็นสารปรุงแต่งเพื่อทดแทนการใช้วัตถุปรุงแต่งอาหารสังเคราะห์ รวมทั้งเพิ่มมูลค่าให้กับผลแคนตาลูปที่สุกงอมหรือผลสุกเกินไป

วิธีการทดลอง

คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้สำหรับเป็นวัตถุดิบ

นำแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้จากแหล่งเพาะปลูกที่มีอายุการเก็บเกี่ยวหลังจากดอกบานประมาณ 45 วัน หรือ ตั้งแต่เริ่มหยอดเมล็ดไม่เกิน 65 วัน ซึ่งมีน้ำหนัก ระหว่าง 1300 – 1600 กรัม มาบ่มที่อุณหภูมิห้อง 30±2 องศาเซลเซียส บ่มเป็น 3 ระดับ ระดับที่1 (ไม่บ่ม) ระดับที่ 2 (บ่มเป็นเวลา 1 สัปดาห์) ระดับที่ 3 (บ่มเป็นเวลา 2 สัปดาห์) จนสุกงอมโดยแยกวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ เนื้อและรก (กากใยติดกับเมล็ด) นำแคนตาลูปทั้ง 3 ระดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ(Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) เทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range test วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมี ดังนี้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) สูงที่สุดเป็นเกณฑ์ ด้วย hand refractometer (Atago รุ่น 2110-W06,Japan) 0-32° Brix (Villanueva และ คณะ, 2004) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ด้วย pH meter(Eutech รุ่น Cyberscan pH 1000 Bench,Singapore) ปริมาณกรดทั้งหมด (%total acidity) ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (2000) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธี Somogyi (1952)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้สำหรับเป็นวัตถุดิบ

จากการทดลองพบว่า ระดับของการบ่มแคนตาลูปทั้ง 3 ระดับคือ ระดับที่1 (ไม่บ่ม) ระดับที่ 2 (บ่มเป็นเวลา 1 สัปดาห์) และ ระดับที่ 3 (บ่มเป็นเวลา 2 สัปดาห์) ทั้งในเนื้อและรกของแคนตาลูป มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) เพิ่มขึ้น และลดลงในช่วงการบ่มระดับที่3 สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เนื่องจากแคนตาลูปเมื่อสุกเต็มที่ (Ripening) มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้แป้งที่สะสมไว้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลมากขึ้น แต่ถ้าเก็บไว้นานขึ้นจน

เข้าสู่ช่วงชราภาพ (Senescence) การหายใจลดลง การเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก็ลดลงด้วย ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่เพิ่มขึ้น เป็นตัวชี้ถึงคุณภาพที่ดีของแคนตาลูปด้วย (Villanueva และคณะ, 2004) เมื่อพิจารณาค่า pH ของเนื้อ พบว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้น และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกมีค่าลดลงในระหว่างการสุก ส่วนค่าpHของรก ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)เนื่องจากรกภายในสุกเต็มที่(Ripening)และนำมาบ่มจนเข้าสู่ช่วงชราภาพ (Senescence) จึงมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Villanueva และคณะ,2004) ซึ่งการทดลองนี้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ เนื้อและรก พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าpH ปริมาณกรดทั้งหมดและ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ดังแสดงในตาราง ที่ 15 และ 16 จากเหตุผลข้างต้นส่งผลให้เลือกระดับนี้เป็นวัตถุดิบนำไปวิเคราะห์การทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของเนื้อแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 3 ระดับ

ระดับการบ่ม	Total soluble solid (°Brix)	pH	%total acidity	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg glucose/gFM)
1	$8.94^{b} \pm 0.17$	$6.21^{b} \pm 0.09$	$0.16^{a} \pm 0.03$	$31.61^{b} \pm 0.95$
2	$9.20^{a} \pm 0.10$	$6.21^{b} \pm 0.03$	$0.14^{a} \pm 0.03$	$37.63^{a} \pm 0.99$
3	$8.62^{c} \pm 0.07$	$6.34^{a} \pm 0.06$	$0.10^{b} \pm 0.03$	$21.26^{c} \pm 0.82$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของรกแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 3 ระดับ

ระดับการบ่ม	Total soluble solid (°Brix)	pH^{ns}	%total acidity	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg glucose/gFM)
1	$10.58^{b} \pm 0.07$	6.75 ± 0.37	$0.26^{a} \pm 0.03$	$22.45^{a} \pm 0.78$
2	$12.00^{a} \pm 0.10$	6.89 ± 0.04	$0.25^{a} \pm 0.03$	$22.39^{a} \pm 0.65$
3	$10.22^{c} \pm 0.07$	6.95 ± 0.02	$0.18^{b} \pm 0.03$	$21.40^{b} \pm 0.98$

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน$107.82^{b} \pm 0.98$

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

สรุปผลการทดลอง

แคนตาลูปที่มีระดับการบ่มทั้ง 3 ระดับมีองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมี แยกวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ เนื้อและรก ของแคนตาลูป เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด ดังนี้ ส่วนเนื้อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 9.10-9.30 °Brix ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 36.64-38.62 mg glucose/gFM และค่าความเป็นกรดด่าง ช่วง 6.18-6.24 สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด 0.11-0.17 % ส่วนของรก มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 11.90-12.10 °Brix ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 21.74-23.04 mg glucose/gFM และค่าความเป็นกรดด่าง ช่วง 6.85-6.93 สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด 0.22-0.28 % ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป

5. เอกสารอ้างอิง

กมลทิพย์ ดำสีนิล. 2537. การผลิตน้ำแตงไทย(*Cucumis melo* Linn. var. acidulus) โดยเอนไซม์ตรึงรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รวินันทน์ บวรสันติสุทธิ์, รักชนก วิริยะนิธิกรณ์ และ รุ่งทิวา รองสวัสดิ์. 2544. ผลของการลวกต่อปริมาณ เบต้าแคโรทีนในผักชนิดต่างๆ. ปริญญาบันทิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิมลศรี สิริพัฒนากุล. 2544. การเปลี่ยนแปลงสีปริมาณบีต้าแคโรทีนและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาน้ำมะม่วงพันธุ์สามปี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. 17 th.ed Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Cinar, I. 2005. Effect of cellulase and pectinase concentrations on the color yield of enzyme extracted plant carotenoids. Process Biochemistry 40: 945-949.

Fallik, E., Alkali-Tuvia, S., Horev, B., Copel, A., Rodov, V., Aharoni, Y., Ulrich, D., and Schulz, H. 2001. Characterisation of 'Galia' melon aroma by GC and mass spectrometric sensor measurements after prolonged storage. Postharvest Biology and Technology 22: 85-91.

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

Ibdah, M., Azulay, Y., Portnoy, V., Wasserman, B., Bar, E., Meir, A., Burger, Y., Hirschberg, J., Schaffer, A. A., Katzir, N., Tadmor, Y., and Lewinsohn, E. 2006. Functional characterization of *CmCCDI*, a carotenoid cleavage dioxygenase from melon. Phytochemistry 67: 1579-1589.

Kourkoutas, D., Elmore, S., and Mottram, D. S. 2006. Comparison of the volatile compositions and flavour properties of cantaloupe, Galia and honeydew muskmelons. Food Chemistry 97: 95-102.

Leong, L. P., and Shui, G. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruit in Singapore markets. Food Chemistry 76: 69-75.

Saftner, R., Abbott, J. A., Lester, G., and Vinyard, B. 2006. Sensory and analytical comparison of orange-fleshed honeydew to cantaloupe and green-fleshed honeydew for fresh-cut chunks. Postharvest Biology and Technology 42: 150-160.

Scalzo, L. R., Papadimitriu, C., Bertolo, G., and Maestrelli, A. 2001. Influence of cultivar and osmotic dehydration time on aroma profiles of mushmelon (*Cucumis melo*, cv reticular Naud.) spheres. Journal of Food Engineering 49: 261-264.

Somogyi, M., 1952. Notes on sugar determination. Journal of Biological Chemistry 195: 19-23.

Villanueva, M. J., Tenorio, M. D., Esteban, M. A., and Mendoza, M. C. 2004. Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. Food Chemistry 87: 179-18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1 . **ชื่อ-นามสกุล** (ภาษาไทย).....รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง.....

(ภาษาอังกฤษ).....Associate Professor Dr. Pranee Anprung.....

สถานภาพ ☐ โสด ☑ สมรส

2. **การทำงาน**

ตำแหน่งปัจจุบัน (อาจารย์ม,ผศ,รศ,ศ.)

สถานที่ทำงาน ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

โทรศัพท์...02-2185515-6..โทรสาร..02-2544314...Email...Prenee@sc.chula.ac.th

3. **ที่อยู่** (ที่บ้าน)...270..ซอยสิรินธร 7..ถนนสิรินธร...เขตบางรัก....กรุงเทพฯ.....107000..

โทรศัพท์...02-4341734....(Mobile Phone)...09-5368813

4. **ประวัติการศึกษา**

		สาขา	สถาบัน	ปีที่จบ
4.1	ปริญญาตรี	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2516
4.2	ปริญญาโท	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2518
4.3	ปริญญาเอก	Food Tech	Tokyo Univ.of Agri 2528(MOMBUCHO)	
4.4	อื่นๆ(ระบุ)	Post Grad.Dip.in Applied Biochem	Tokyo Inst of Tech.	2521 (UNESCO)

5. **สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ**

..Food Enzymes,Functional Foods and Bioactive Prebiotics, Sensory Evaluation, Fruit Juice..

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัย

ชื่อ	ปริญญาตรี	ปริญญาโท	ปริญญาเอก
นางสาวปรรัตน์ เซ็นกลาง	สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นางสาวสมฤดี ไทพาณิชย์	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาววสาวี ถ้วยทอง	สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวสุวิมล เจริญสิทธิ์	สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวชมัยพร แรงกลาง	สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-

ชื่อ	ปริญญาตรี	ปริญญาโท	ปริญญาเอก
นางสาวเกวลี ครุณาสวัสดิ์	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวกรรณิการ์ สอนโยธา	ภาควิชาจุลชีววิทยา สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวนัฏฐพร วุฒิสิทธิ์	สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย