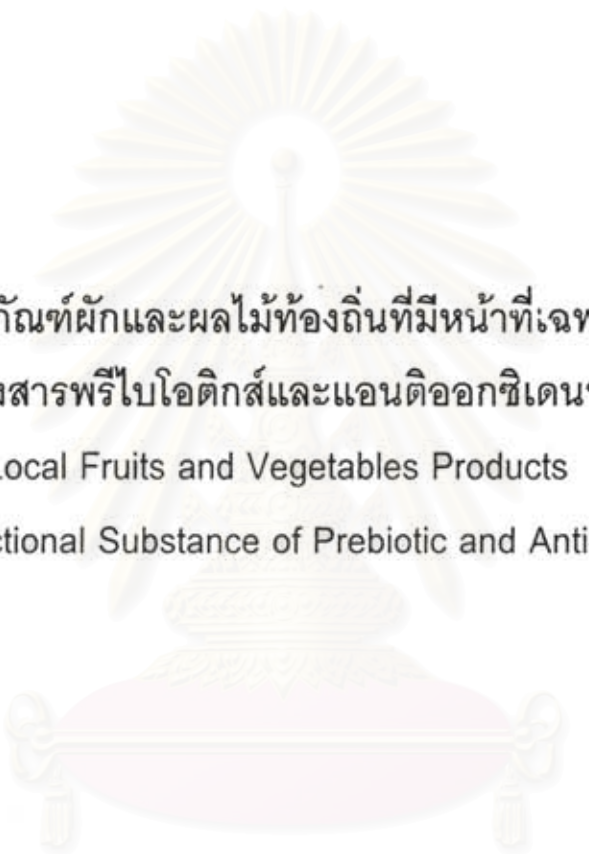


รายงานการวิจัย
ปีงบประมาณ 2550




ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ท้องถิ่นที่มีหน้าที่เฉพาะ
ของสารพรีไบโอติกส์และแอนติออกซิเดนต์
Local Fruits and Vegetables Products
with Functional Substance of Prebiotic and Antioxidant

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย
รศ.ดร. ปราณีย์ อำนเปื้องและคณะ
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2550

รายงานการวิจัย
ปีงบประมาณ 2550



ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ท้องถิ่นที่มีหน้าที่เฉพาะ
ของสารพรีไบโอติกส์และแอนติออกซิเดนท์
Local Fruits and Vegetables Products
with Functional Substance of Prebiotic and Antioxidant

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย

รศ.ดร. ปราณีย์ อำนเป็รื่องและคณะ
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2550

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2550 ภายใต้
แผนงานวิจัยนวัตกรรมเพื่อยกระดับคุณภาพ และความปลอดภัยทางอาหารสู่โครงสร้างเศรษฐกิจ
ใหม่ที่ให้เงินทุนสนับสนุนโครงการวิจัยผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ท้องถิ่นที่มีสารหน้าที่เฉพาะของสาร
พรีไบโอติกส์และแอนติออกซิแดนซ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การผลิตสารสกัดจากผัก และผลไม้ท้องถิ่นเพื่อให้ได้สารที่มีหน้าที่เฉพาะด้านฟรีไบโอติกส์ และแอนติออกซิเดนท์โดยใช้เทคนิคทางเอนไซม์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดของเหลวต่างๆ รวมทั้งสารให้สี กลิ่น รส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ตามแต่ละชนิดของวัตถุดิบ โดยไม่ผ่านกระบวนการแยกกาก หรือโยอาหารออก ทำให้สารสกัดที่ได้ยังคงรักษาองค์ประกอบเดิม แต่มีความเข้มข้นมากขึ้น สามารถนำไปใช้ผสมในอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ (Functional food) เพื่อทดแทนสารสังเคราะห์ ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร ซึ่งจากการวิจัยได้คัดเลือกผักและผลไม้ที่มีศักยภาพเพื่อพัฒนาเป็นสารปรุงแต่งสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสในอาหาร ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะและการนำไปใช้งานได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 วัตถุดิบที่คัดเลือกเพื่อการผลิตสารสกัดทางชีวภาพลักษณะเด่นและหน้าที่เฉพาะและเทคโนโลยีการผลิต

กลุ่ม	วัตถุดิบ	หน้าที่เฉพาะ	เทคโนโลยีการผลิต
สารฟรีไบโอติกส์	กล้วยหอม	สารฟรีไบโอติก วิตามิน และกลิ่นเฉพาะตัวของกล้วยหอม	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	พุทรา	โยอาหารละลายน้ำในกลุ่มของมิวซิเลจ และสารฟรีไบโอติกส์	(1) Pretreatment (2) Extraction (3) Enzyme Treatment (4) Freeze drying
สารต้านออกซิเดชั่นและสารให้สี	ฝรั่งแดง	สารให้สีแดงของไลโคปีน วิตามินซี โยอาหารและสารต้านออกซิเดชั่น	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	แคนตาลูป	สารให้สีเหลืองของคารโรทีนอยด์ กลิ่น และโยอาหาร	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	มะม่วง	สารให้สีเหลืองของเบต้าแคโรทีนดี กลิ่นเฉพาะตัวของเทอร์พีน วิตามินเอและซี และคุณสมบัติการเป็นอิมัลชัน	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	ใบเตยหอม	สารให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์ สารให้กลิ่น 2 AP และสารต้านออกซิเดชั่น	(1) Re-greening process (2) Enzyme Treatment (3) Concentrate (4) Encapsulation
	มะตูม	สารให้สีเหลืองของคารโรทีนอยด์ สารฟีนอลิก กลิ่น และโยอาหาร	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
แก้วมังกรแดง		สารให้สีแดงของเบต้าไซยานิน (betacyanin)	(1) Pretreatment
		โยอาหารและสารต้านออกซิเดชั่น	(2) Enzyme Treatment

Abstract

Local fruits and vegetables contain many bioactive compounds including prebiotic and antioxidant. Enzymatic extraction is the efficiency process to extract colorants, unique flavors and aroma, and functional ingredients. These products not only maintain the important ingredients, but also increase the extract concentration, and still remain all of the dietary fiber. The product can be used as the natural ingredients in functional food, replacing the synthetic chemical compounds, value added agricultural products, and more convenient to use. From this research, to develop the potential fruits and vegetables for colorants, unique flavors and texture in food was selected below.

Table 2 Source of bioactive compounds functional ingredients and production technologies from fruits.

Group	Raw material	Functional property	Production technology
Prebiotic	Banana	Prebiotic, vitamin and banana flavor	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	Jujube	Soluble dietary fiber-mucilage and Prebiotic	(1) Pretreatment (2) Extraction (3) Enzyme Treatment (4) Freeze drying
Antioxidant	Red guava	Lycopene pigment, vitamin C, fiber and antioxidant	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	Cantaloupe	Carotenoid pigment, flavor and fiber	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	Mango	Betacarotene, terpine, flavor, vitamin A, vitamin C and emulsion property	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	Pandan	Chlorophyll, 2AP flavor and antioxidant	(1) Re-greening process (2) Enzyme treatment (3) Concentrate (4) Encapsulation
	Bael fruit	Carotenoid, phenolic compound, flavor and fiber	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment
	Rea dragon	Betacyanin fiber and antioxidant	(1) Pretreatment (2) Enzyme Treatment

สารบัญเรื่อง

		หน้าที่
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
สารบัญ		ค
สารบัญตาราง		ง
สารบัญรูป		จ
บทนำ		1
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 1	ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและตรึงรูปสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกลิ่นของใบเตยหอม <i>Pandanus amaryllifolius</i>	4
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 2	กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไคร้ปอกกล้วยหอม <i>Musa acuminata. cinn.</i> เพื่อเป็นอาหารหน้าที่เฉพาะ	21
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 3	ผลของการสกัดด้วยเอนไซม์ต่อสารหน้าที่เฉพาะในฝรั่งแดง <i>Psidium guajava L</i>	31
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 4	การผลิตด้วยเอนไซม์และการหาลักษณะเฉพาะของไคร้ปมะตูม <i>Aegle marmel (L.)</i>	40
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 5	การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารจากพุทราพันธุ์สามรส <i>Ziziphus mauritiana Lam</i>	55
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 6	ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสทของมะม่วงน้ำดอกไม้ <i>Mangifera indica L.</i>	64
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 7	การสกัดด้วยเอนไซม์และเสถียรภาพของสารให้สีในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง <i>Hylocerens polyrhizas Weber Britton & Rose</i>	72
ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 8	ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกลิ่นแดงฮันนีดิว	78
ประวัตินักวิจัยและคณะ		79

สารบัญตาราง

		หน้าที่
ตารางที่ 1	แผนการดำเนินงานวิจัยในปี 2550	b
ตารางที่ 2	วัตถุประสงค์ที่คัดเลือกเพื่อการผลิตสารสกัดทางชีวภาพและลักษณะเด่น และหน้าที่เฉพาะและเทคโนโลยีการผลิต	c
ตารางที่ 3	วิเคราะห์องค์ประกอบในใบเตยหอม	7
ตารางที่ 4	ปัจจัยด้านความเป็นกรด-ด่าง ต่อค่าสีสารสกัดใบเตย	9
ตารางที่ 5	ค่าการวัดสีสารสกัดใบเตยที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °C เป็นเวลา 0-30 นาที	11
ตารางที่ 6	ค่าการวัดสีสารสกัดใบเตยชุดควบคุมและที่ให้ความร้อน 121 °C 15 นาที ที่ค่า pH 3.0-8.0	13
ตารางที่ 7	ผลของขั้นตอนก่อนการแปรรูป (pre-treatment) ต่อค่าสี ปริมาณ คลอโรฟิลล์ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของสารสกัดใบเตยหอม	16
ตารางที่ 8	ค่า Regression coefficient, R ² และ p (probability) ของค่าทางเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสของสารสกัดใบเตยหอมเมื่อผ่านขั้นตอน การเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป	17
ตารางที่ 9	ค่าเอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุก ระยะเวลาต่างๆ	24
ตารางที่ 10	ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุก ระยะเวลาต่างๆ	25
ตารางที่ 11	สารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะเวลาต่างๆ วิเคราะห์ ด้วยเทคนิค SHA/GC/MS	26
ตารางที่ 12	คะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของเนื้อฝรั่งแดง	34
ตารางที่ 13	องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของเนื้อฝรั่งแดงระยะการสุก 1 และ 2	35
ตารางที่ 14	ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของมะตูมสุกที่ระยะเวลาต่างๆ	44
ตารางที่ 15	คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อมะตูมสุกที่ระยะเวลาต่างๆ	45
ตารางที่ 16	ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของมะตูมที่เลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการ ผลิตไซรัปมะตูม	45
ตารางที่ 17	สารให้กลิ่นระเหยของมะตูม วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME/GC/MS	48

ตารางที่ 18	ปริมาณมิวซิเลจที่ได้จากพุทราสุก 3 ระดับ	59
ตารางที่ 19	ผลการตรวจสอบ activity ของ เอนไซม์ peroxidase ในผลพุทราที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 85°C ที่ระยะเวลาต่างๆ	60
ตารางที่ 20	ปริมาณมิวซิเลจที่ได้จากพุทราสุก ที่สภาวะการสกัดต่างๆ	61
ตารางที่ 21	ปริมาณมิวซิเลจที่ได้จากการตกตะกอน ที่อัตราส่วนสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol ระดับต่างๆ	62
ตารางที่ 22	คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก	67
ตารางที่ 23	องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก	68
ตารางที่ 24	แสดงค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ ABTS ที่ได้จากส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง	75
ตารางที่ 25	แสดงองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง	76
ตารางที่ 26	องค์ประกอบทางกายภาพของกากใยติดกับเมล็ดของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ	81
ตารางที่ 27	องค์ประกอบทางกายภาพของเนื้อพร้อมเปลือกของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ	81
ตารางที่ 28	คะแนนการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของกากใยติดกับเมล็ดของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ	82
ตารางที่ 29	คะแนนการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของเนื้อพร้อมเปลือกของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ	29

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1	ค่าการวัดสี (A) ค่าสีเขียว (B) Hue ที่ค่า pH 3-8	8
รูปที่ 2	ค่าการวัดสี (A) ค่าสีเขียว (B) ค่า Hue ที่ให้ความร้อนสารสกัด	10
รูปที่ 3	การเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัด	12
รูปที่ 4	การเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัด pH 3 – 8	12
รูปที่ 5	กราฟ response surface ระหว่างอุณหภูมิและเวลา โดยกำหนดให้ ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm ของการเตรียม วัตถุดิบก่อนการแปรรูป	14
รูปที่ 6	กราฟ response surface ระหว่างอุณหภูมิและเวลา โดยกำหนดให้ ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm ของการเตรียม วัตถุดิบก่อนการแปรรูป	15
รูปที่ 7	เอกทิวิตีของสารฟิโบริโอติกของเนื้อกล้วยหอมสุกในระยะต่างๆ	25
รูปที่ 8	ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดย ภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็น นาน 7 วัน	28
รูปที่ 9	ค่าเฉลี่ยสีเหลือง (+b*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดย ภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็น นาน 7 วัน	29
รูปที่ 10	ค่าความสว่าง (L value) ของเนื้อฝรั่งแดงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำที่ เวลาและอุณหภูมิต่างๆ	36
รูปที่ 11	ค่าสีแดง (a value) ของเนื้อฝรั่งแดงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำที่เวลาและ อุณหภูมิต่างๆ	36
รูปที่ 12	ค่าสีเหลือง (b value) ของเนื้อฝรั่งแดงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำที่เวลา และอุณหภูมิต่างๆ	37
รูปที่ 13	Chromatogram ของสารให้กลิ่นระเหยของมะตูม วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME/GC/MS	47
รูปที่ 14	ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) ของเนื้อมะตูมบดที่ผ่านการควบคุมการ เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ	51
รูปที่ 15	ค่าเฉลี่ยสีแดง (a*) ของเนื้อมะตูมบดที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา น้ำตาลที่ภาวะต่างๆ	51
รูปที่ 16	ค่าเฉลี่ยสีเหลือง (b*) ของเนื้อมะตูมบดที่ผ่านการควบคุมการเกิด	52

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ

- รูปที่ 17 ค่า L^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่ระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ 0, 1, 3, 5 69
นาที่ ของกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
- รูปที่ 18 ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่ระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ 0, 1, 3, 5 69
นาที่ของกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

ผักและผลไม้เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยวิตามินและเกลือแร่ ที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชในเขตเมืองร้อน ที่เป็นแหล่งของพฤษเคมีที่ให้คุณสมบัติเฉพาะในการป้องกันและรักษาโรค ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีข้อได้เปรียบด้านความหลากหลายของผักและผลไม้ทั้งในด้านปริมาณ ชนิดและรสชาติ ทำให้เป็นยุทธศาสตร์ในการพัฒนาศักยภาพด้านอาหารในการแข่งขันกับตลาดโลกได้ แต่ประเทศไทยยังขาดข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าเชิงหน้าที่เฉพาะของผักและผลไม้ท้องถิ่น ขาดการศึกษาวิธีการแปรรูปอาหารที่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของพฤษเคมีที่เหมาะสม

การใช้เอนไซม์ เป็นวิธีทางชีวภาพในการย่อยสลายชั้นผนังเซลล์ของพืช เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดของเหลวต่างๆ รวมทั้งสารให้สี กลิ่นรส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยทั่วไปเอนไซม์ในกลุ่ม cellulolytic และ pectinolytic สามารถย่อยสลายและทำให้เกิด liquefaction ได้สมบูรณ์ จึงมีการใช้เอนไซม์ pectinase และ cellulase ในการย่อยสลายเนื้อเยื่อผนังเซลล์ของพืช เช่น เปลือกส้ม มันฝรั่ง และแครอท เพื่อจุดประสงค์ในการสกัดสารสีแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในภายในคลอโรพลาสต์ในชั้นผนังเซลล์ให้หลุดออกมา โดยยังคงยึดคงเชื่อมอยู่กับโปรตีน ทำให้ไม่ถูกออกซิไรส์ได้ง่ายในสภาวะแวดล้อมซึ่งเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) เพราะจะไปตัดพันธะระหว่างรงควัตถุกับโปรตีน ทำให้รงควัตถุที่ได้ไม่ละลายน้ำ และเกิดออกซิเดชันได้ง่าย (Cinar, 2005) นอกจากนี้ Mullu และ คณะ(1999) รายงานว่า การใช้เอนไซม์เพคตินเนสในการสกัดน้ำแครอท มีผลช่วยให้เพิ่มปริมาณน้ำแครอท และปริมาณเบต้าแคโรทีนที่สกัดได้ รวมทั้งสารให้สีและกลิ่นรสของแครอทที่ดีกว่าสภาวะที่ไม่ใช้เอนไซม์ เช่นเดียวกับใช้เอนไซม์เพคตินเนสในการเพิ่มปริมาณน้ำสกัดและปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากองุ่นแดง (Pilnik และ Voragen ,1993) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ใช้เอนไซม์ เพคตินเนส ในการสกัดสารที่มีฤทธิ์ทางเภสัชอื่นๆ เช่น มะเฟือง (Liew Abdullah และคณะ,2007) และทับทิม (Bates และคณะ, 2006) เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์และปริมาณโภชนเภสัชสารที่สกัดได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อพัฒนาศักยภาพของผักและผลไม้ของไทยโดยศึกษาผักและผลไม้ที่มีคุณสมบัติเฉพาะด้าน สีกลิ่น รสและมีสารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่เช่น ด้านฟรีไบโอติกส์ และสารต้านอนุมูลอิสระ พร้อมทั้งศึกษาแนวทางการแปรรูปที่เหมาะสมในการผลิตสารสกัดจากผักและผลไม้ โดยศึกษาสภาวะการสกัดโดยอาศัยเทคนิคเอนไซม์ ตรวจสอบติดตามฤทธิ์ของสารสี สารฟรีไบโอติกส์ และสารต้านออกซิเดชันในรูปของสารสกัด และผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปสารสกัดที่มีสี กลิ่น รส เฉพาะที่มีสารที่มีคุณสมบัติเฉพาะเชิงหน้าที่ที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้เป็นสารแต่งสี กลิ่น และรสชาติ ให้กับอาหารที่ได้มาจากธรรมชาติทดแทนการใช้สารเคมีสังเคราะห์ จึงมี

จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพ และนอกจากนี้การวิจัยจะช่วยลดการนำเข้าสารสกัดผักและผลไม้เข้มข้นจากต่างประเทศ และยังเป็นแนวทางในการสร้างกลยุทธ์ในการส่งออกของไทยอีกประการ

โครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการผลิตสารสกัดจากพืชโดยใช้เทคนิคทางเอนไซม์เพื่อย่อยสลายเนื้อเยื่อพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดของเหลวต่างๆ รวมทั้งสารให้ สี กลิ่น รส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ตามแต่ลักษณะชนิดของวัตถุดิบ โดยไม่ผ่านกระบวนการแยกกากหรือโยอาหารออก ทำให้สารสกัดที่ได้ยังคงรักษาองค์ประกอบเดิมแต่มีความเข้มข้นมากขึ้น สามารถนำไปใช้ผสมในอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ (functional food) เพื่อทดแทนการใช้สารสังเคราะห์ สะดวกต่อการใช้งานและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

รายนามคณะผู้วิจัย พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัดและหมายเลขโทรศัพท์

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรานี อานปร็อง ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทรศัพท์ 02- 2185515-6 โทรสาร02-2544314

โครงการวิจัยนี้ประกอบด้วยโครงการวิจัยย่อย 8 โครงการ คือ

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและตรึงรูปสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกลิ่นของใบเตยหอม *Pandanus amaryllifolius* (น.ส. ปรวัฒน์ เข็นกลาง นิสิตหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร)
2. กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปกล้วยหอม *Musa acuminata. cinn.* เพื่อเป็นอาหารหน้าที่เฉพาะ (น.ส. สมฤดี ไทพานิชย์ นิสิตหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร)
3. ผลของการสกัดด้วยเอนไซม์ต่อสารหน้าที่เฉพาะในฝรั่งแดง *Psidium guajava* L (น.ส. วสาวี ถ้วยทอง นิสิตหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ)
4. การผลิตด้วยเอนไซม์และการหาลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูม *Aegle marmel* (L.) (น.ส. สุวิมล เจริญสิทธิ์ นิสิตหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร)
5. การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารจากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam (น.ส. ชมัยพร แรงกลาง นิสิตหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร)
6. ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสทของมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L. (น.ส. เกวลี ครุณาสวัสดิ์ นิสิตหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ)

7. การสกัดด้วยเอนไซม์และเสถียรภาพของสารให้สีในแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง *Hylocerens polyrhizas* Weber Britton & Rose (น.ส. กรรณิการ์ สอนโยธา นิสิตหลักสูตรปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร)
8. การสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป *Cucumis melo* var. *cantalupensis* พันธุ์ ชันเลดี้ ด้วยเอนไซม์ (น.ส. นัญฎพร วุฒิสิริ นิสิตหลักสูตรปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยี ทางอาหาร)

ซึ่งในแต่ละโครงการย่อมมีการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ และขั้นตอนการจัดเตรียม วัตถุดิบให้มีความเหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเอนไซม์ เพื่อการสกัดสารที่มีหน้าที่เฉพาะ ผลการวิจัย มีดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 1
ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและตรึงรูปสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
และกลิ่นของใบเตยหอม *Pandanus amaryllifolius*
โดย นางสาวปรรัตน์ เข็นกลาง และ รศ.ดร. ปรานี อ่านเป็รื่อง

ตอนที่ 1

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดใบเตยและสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุง
คุณภาพสารสกัดใบเตยหอมโดยใช้ Response Surface Methodology (RSM)
Factor effecting on color changed in pandan leaf -extract and optimization of pretreatment to improve the
quality using Response Surface Methodology (RSM)

บทคัดย่อ

ใบเตยหอม *Pandanus amaryllifolius* Roxb. มีคลอโรฟิลล์ที่เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ซึ่งคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และให้สีเขียว และสาร 2-AP ที่ให้กลิ่นเฉพาะของใบเตยหอม แต่เนื่องจากสารดังกล่าวเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปจะทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมากโดย ในสภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิสูงจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวมะกอกจนถึงสีน้ำตาล จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบมีความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี กายภาพ โดยเพิ่มความคงตัวของสีเขียว กลิ่นใบเตย ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้เป็นที่ยอมรับ ขั้นตอนประกอบด้วย การเตรียมวัตถุดิบภายใต้ภาวะที่มีสารซิงค์คลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและเวลา เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมจึงการวางแผนทดลองแบบ Response surface method ซึ่งครอบคลุมปัจจัยการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ (70-90 °C) เวลา (1-10 นาที) และ ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ (1300 – 5200 ppm) ซึ่งภาวะที่ทำให้ได้ค่าทางเคมีกายภาพ และค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 70°C เวลา 1 นาที ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1300 ppm. สภาวะนี้จะนำไปใช้ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบการแปรรูปเพื่อการแปรรูปต่อไป

Keyword: Pre-treatment, pandan leaf extract, bioactive compound, 2AP, chlorophyll, RSM

1. บทนำ

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหลักที่สำคัญในระบบการสังเคราะห์แสงและให้สีเขียวในพืชชั้นสูง ซึ่งพบในคลอโรพลาสต์ที่มีชั้นของผนังเซลล์ไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ห่อหุ้มอยู่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีคลอโรฟิลล์ เช่นการเปลี่ยนแปลง pH ผลจากกิจกรรมของเอนไซม์และความร้อน ในสภาวะที่เป็นกรดอะตอมของแมกนีเซียม (Mg^{2+}) จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจน (H) สองโมเลกุล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเกิดเป็นอนุพันธ์ฟีโอฟิติน (pheophytins) การให้ความร้อนจะพบการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวอมเหลือง หรือสีเขียวมะกอก ที่เกิดเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์แบบไม่ผันกลับ ดังนั้นการแปรรูปผักและผลไม้กระป๋องจะพบสีเขียวมะกอกจากอนุพันธ์ของฟีโอฟิติน (pheophytin) และไพโรฟีโอฟิติน (pyropheophytins) ความร้อนเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ (isomer) และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) (Jones et al ,1962) ซึ่งทำให้ผักและผลไม้เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการรักษาสีเขียวในผักและผลไม้เป็นเป้าหมายของการผลิตอาหารที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน

งานวิจัยในส่วนนี้เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ โดยศึกษาวัตถุดิบใบเตยหอม วิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ และศึกษาขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเป็นขั้นตอนที่สำคัญก่อนการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ในใบเตยหอม ซึ่งขั้นตอนก่อนการสกัดใบเตยต้องผ่านการให้ความร้อนในสภาวะที่มีเกลือของโลหะ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและประสาทสัมผัส นอกจากนี้ยังช่วยลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบอีกประการด้วย การเติมเกลือของโลหะ โดยไอออนของโลหะจะเข้าไปแทนที่โมเลกุลของแมกนีเซียมในวงแหวนพอร์ไฟริน (porphyrine ring) ภายในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวมีความคงทนต่อสิ่งแวดล้อม และทำให้อยู่ในรูปที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. วิธีการทดลอง

การศึกษาประกอบด้วย วิเคราะห์องค์ประกอบไบโอดีทและปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดไบโอดีท อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง และสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพสารสกัดไบโอดีทโดยใช้ Response Surface Methodology (RSM)

ตอนที่ 1 วิเคราะห์องค์ประกอบไบโอดีท

วิเคราะห์องค์ประกอบของไบโอดีทด้านเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี (เครื่อง Minolta CT310 ระบบ CIE systems: L^* , a^* , b^* , chroma, Hue values โดยมี D25 Optical sensor) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Arnon, 1940) ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Maisuthisakul et al., 2006 ; Thaipong et al., 2006) เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบเมื่อผ่านขั้นตอนการสกัดแล้ว

ตอนที่ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดไบโอดีท

เนื่องจากคลอโรฟิลล์ไม่เสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำให้เกิดอนุพันธ์ที่มีสีเขียวมะกอกจนถึงสีน้ำตาล ดังนั้นจึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จึงแปรสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH 3-8) และอุณหภูมิ (70-120°C) โดยการสกัดน้ำไบโอดีทและปรับค่าความเป็นกรดและด่างโดยใช้กรดซิตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ ให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิและหมั่นคนสม่ำเสมอเพื่อให้ได้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด

ตอนที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพสารสกัดไบโอดีทโดย Response Surface Methodology (RSM)

การศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และประสิทธิผลของสารสกัดไบโอดีท ศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิ (70-90 °C) เวลา (1-10 นาที) และ ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ (1300 – 5200 ppm) ต่อคุณภาพด้านสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นและการยอมรับโดยรวม โดยวางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) และ Response Surface Method (RSM) ซึ่งมี 19 ชุดการทดลอง และสร้างสมการรีเกรสชันดังนี้

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$$

โดยค่า Coefficients b_0 (constant term); b_1 , b_2 และ b_3 (linear effects); b_{11} , b_{22} และ b_{33} (quadratic effects); และ b_{12} , b_{13} และ b_{23} (interaction effects).

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 วิเคราะห์องค์ประกอบใบเตยหอม

เตยหอม (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) เมื่อนำมาล้าง ตัดแต่งในส่วนโคน และตัดส่วนใบอ่อนทิ้ง เลือกเฉพาะใบที่แก่จะได้ปริมาณผลผลิต (%yield) 65-70% ซึ่งวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิเคราะห์องค์ประกอบในใบเตยหอม

Composition		Values
Color	L* values	36.11 ± 1.89
	a* values	-11.65 ± 1.72
	b* values	15.14 ± 3.35
	Chroma	22.80 ± 0.75
	Hue	127.26 ± 0.48
Chlorophyll a	0.66 ± 0.15	mg/g fw
Chlorophyll b	0.42 ± 0.01	mg/g fw
Chlorophyll total	1.42 ± 0.22	mg/g fw
Antioxidant activity	557.9 ± 4.23	µM TE/g fresh mass
pH	5.86 ± 0.23	

ตอนที่ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดใบเตยหอม

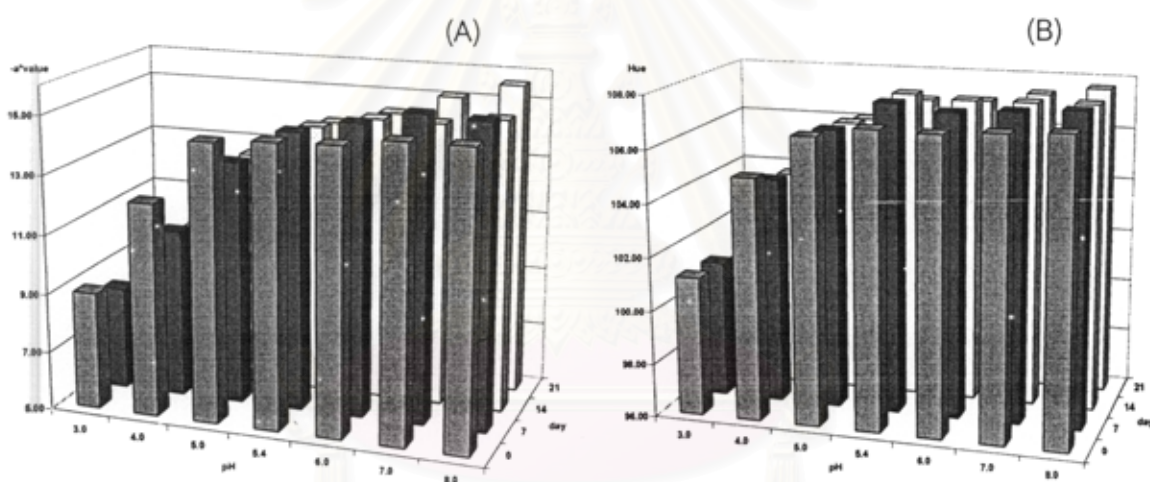
ในงานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์จากสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ความร้อน และค่าความเป็นกรดต่างร่วมกับความร้อน พบว่ามีผลการทดลองดังนี้

1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สภาวะความเป็นกรด-ด่างมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดใบเตยอย่างมีนัยสำคัญ แสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาสีเขียว (-a* value) และค่า Hue (โดย Hue เท่ากับ 90 คือตัวอย่างมีสีเหลือง ถ้าค่า hue สูงขึ้นแสดงว่าสีเขียวเพิ่มมากขึ้น) พบว่าในสภาวะที่เป็นกรดแก่ (pH 3) สารสกัดจะมีค่าสีเขียวต่ำสุดและมีสีน้ำตาลสูงสุด ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน (pH 4-6) สารสกัดจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวมะกอก และสีเขียวเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH สูงขึ้น โดยที่ pH 7-8 จะมีสีเขียวสูงสุด เมื่อพิจารณา pH ของสารสกัดใบเตย ชุดควบคุม พบว่า มีค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นกรดอ่อน (pH 5.4) เนื่องจากกรดอินทรีย์ในเซลล์ (cell sap) เช่น

กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ที่อยู่ภายในแวคิวโอลผ่านเข้าไปในคลอโรพลาสต์จึงทำให้ pH ของสารสกัดใบเตย ลดต่ำลง ทำให้สารสกัดใบเตยเมื่อเก็บรักษาทำให้สีเขียวลดลงและสารสกัดมีสีน้ำตาลมากขึ้น

การลดลงของสีเขียวเนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน เนื่องจากอะตอมของแมกนีเซียมถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอมทำให้เกิดอนุพันธ์ของฟีโอฟิติน (pheophytin) ที่มีสีเขียวมะกอกหรือสีเขียวปนน้ำตาล ซึ่งในสภาวะที่เป็นกรดแก่อนุมูลไฮโดรเจนสามารถเข้าแทนที่ทั้งแมกนีเซียมและไฟทอล ทำให้เกิดอนุพันธ์ฟีโอฟอไรด์ (pheophorbide) ที่มีสีเขียวปนดำ และในสภาวะที่เป็นด่างหมู่ไฟทอลในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ จะถูกกำจัดออกไปทำให้เกิดอนุพันธ์คลอโรฟิลลิน (chlorophyllin) ที่มีสีเขียวสดใสและสามารถละลายน้ำได้ดี แต่ไม่เป็นที่นิยมในทางอาหารเนื่องจากมีผลต่อเนื้อสัมผัสทำให้นิ่มและและทำลายวิตามินบี



รูปที่ 1 ค่าการวัดสี (A) ค่าสีเขียว (B) Hue ที่ค่า pH 3-8 โดย ■ 0 วัน ■ 7 วัน □ 14 วัน □ 21 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ปัจจัยด้านความเป็นกรด-ด่าง ต่อค่าสีสารสกัดใบเตย

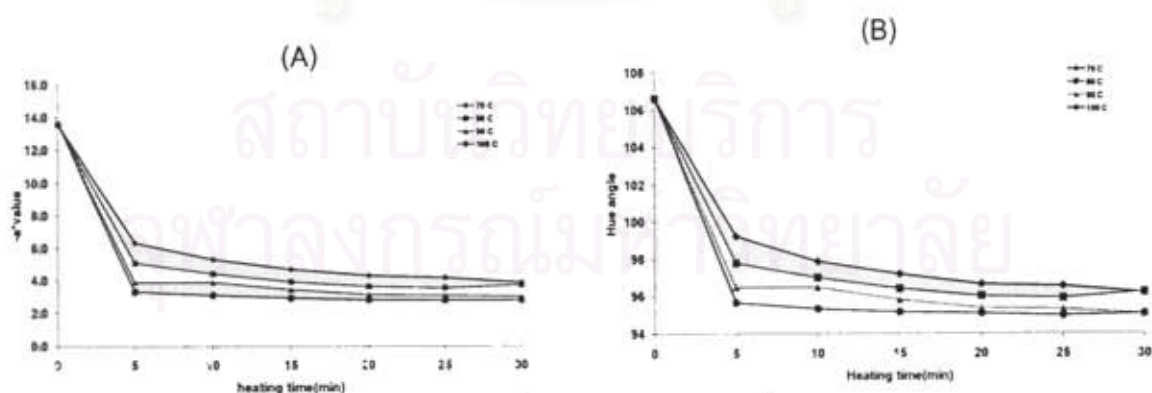
Day	pH	L*value	a*value	b* value	Hue
0	3.0	40.86 ± 0.03 ^c	-9.00 ± 0.05 ^a	45.47 ± 0.02 ^a	101.19 ± 0.06 ^f
	4.0	37.69 ± 0.07 ^b	-12.21 ± 0.07 ^b	45.51 ± 0.15 ^a	105.04 ± 0.07 ^a
	5.0	39.22 ± 0.65 ^d	-14.41 ± 0.03 ^c	48.05 ± 0.22 ^{ba}	106.69 ± 0.06 ^d
	5.4	35.33 ± 0.03 ^f	-14.55 ± 0.02 ^d	47.42 ± 0.03 ^d	107.06 ± 0.01 ^c
	6.0	37.68 ± 0.09 ^a	-14.62 ± 0.02 ^a	47.77 ± 0.13 ^c	107.01 ± 0.07 ^a
	7.0	42.27 ± 0.02 ^b	-14.88 ± 0.01 ^f	48.22 ± 0.01 ^a	107.15 ± 0.01 ^b
	8.0	54.23 ± 0.05 ^a	-14.90 ± 0.03 ^f	47.91 ± 0.06 ^{bc}	107.27 ± 0.03 ^a
7	3.0	42.29 ± 0.05 ^c	-8.53 ± 0.01 ^a	43.35 ± 0.03 ^f	101.13 ± 0.06 ^f
	4.0	38.45 ± 0.02 ^a	-10.74 ± 0.01 ^b	41.21 ± 0.04 ^g	104.48 ± 0.03 ^a
	5.0	39.84 ± 0.01 ^d	-13.28 ± 0.01 ^c	44.67 ± 0.02 ^a	106.50 ± 0.00 ^d
	5.4	34.46 ± 0.13 ^g	-14.45 ± 0.01 ^d	45.62 ± 0.23 ^d	107.61 ± 0.11 ^c
	6.0	37.58 ± 0.01 ^f	-14.89 ± 0.01 ^a	47.34 ± 0.02 ^c	107.37 ± 0.06 ^{ba}
	7.0	43.16 ± 0.01 ^b	-15.33 ± 0.02 ^g	48.48 ± 0.02 ^a	107.51 ± 0.02 ^b
	8.0	56.60 ± 0.06 ^a	-15.25 ± 0.02 ^f	47.75 ± 0.02 ^b	107.64 ± 0.10 ^a
14	3.0	42.45 ± 0.01 ^c	-7.88 ± 0.01 ^a	42.02 ± 0.06 ^f	100.57 ± 0.06 ^f
	4.0	37.58 ± 0.01 ^a	-10.36 ± 0.01 ^b	40.56 ± 0.05 ^g	104.23 ± 0.06 ^a
	5.0	40.69 ± 0.02 ^d	-13.08 ± 0.02 ^c	44.36 ± 0.06 ^a	106.35 ± 0.05 ^d
	5.4	34.16 ± 0.01 ^f	-14.21 ± 0.03 ^d	44.85 ± 0.01 ^c	107.57 ± 0.06 ^b
	6.0	31.56 ± 0.01 ^g	-14.61 ± 0.01 ^a	44.73 ± 0.05 ^d	108.02 ± 0.02 ^a
	7.0	44.79 ± 0.04 ^b	-14.61 ± 0.02 ^a	46.43 ± 0.02 ^b	107.45 ± 0.05 ^c
	8.0	55.56 ± 0.01 ^a	-14.88 ± 0.02 ^f	47.11 ± 0.03 ^a	107.49 ± 0.04 ^{ba}
21	3.0	40.11 ± 0.01 ^c	-8.35 ± 0.02 ^a	43.32 ± 0.09 ^f	100.73 ± 0.06 ^f
	4.0	40.08 ± 0.03 ^d	-10.42 ± 0.03 ^b	40.74 ± 0.06 ^g	104.23 ± 0.06 ^a
	5.0	39.98 ± 0.01 ^a	-12.78 ± 0.01 ^c	44.29 ± 0.04 ^a	106.10 ± 0.00 ^d
	5.4	36.46 ± 0.02 ^f	-13.93 ± 0.03 ^d	45.25 ± 0.02 ^d	106.97 ± 0.06 ^c
	6.0	42.57 ± 0.02 ^b	-14.40 ± 0.02 ^a	46.78 ± 0.03 ^c	107.03 ± 0.06 ^c
	7.0	42.57 ± 0.01 ^b	-15.11 ± 0.02 ^f	47.85 ± 0.01 ^b	107.40 ± 0.00 ^b
	8.0	54.44 ± 0.01 ^a	-15.64 ± 0.01 ^g	48.75 ± 0.02 ^d	107.70 ± 0.00 ^a

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ p<0.01

2) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

เมื่อให้ความร้อนสารสกัดใบเตยที่อุณหภูมิ 70-100 °C เป็นเวลา 0-30 นาที พบว่าค่าสีเขียว ($-a^*$ value) และค่า Hue ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 2) โดยอัตราการลดลงของสีเขียวในสภาวะที่ให้ความร้อนสูงเกิดได้เร็วกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าในเวลา 5 นาทีแรกของการให้ความร้อนที่ 70, 80, 90 และ 100 °C ค่าสีเขียวลดลงไป 53.3%, 62.5%, 71.25% และ 75.73% ตามลำดับ และเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที ค่าสีเขียวลดลงไป 71.54 %, 72.72%, 77.86%, และ 79.55% ตามลำดับ การลดลงของสีเขียวสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ การให้ความร้อนสารสกัดเป็นเวลานานทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ถูกทำลายมากขึ้น เนื่องจากความร้อนสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผนังเซลล์ ทำให้กรดอินทรีย์ที่ละลายอยู่ใน cell sap ภายในแวคคิวโอลผ่านเข้าไปในคลอโรพลาสต์เข้าสัมผัสกับคลอโรฟิลล์ที่อยู่ภายในทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟตินและเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานจะทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำเพิ่มขึ้นและเกิด Decarbo-methoxylation ของฟีโอไฟตินเกิดเป็นไพโรฟีโอไฟติน (pyropheophytin) การให้ความร้อนแก่พืชสีเขียวจึงพบรังควันต์ต่างๆ คือ ของฟีโอไฟตินและไพโรฟีโอไฟตินที่ให้สีเขียวมะกอกและสีน้ำตาล (Ngo and Zhao, 2005)

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสีเขียวของสารสกัดใบเตยไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพราะสีเขียวจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวมะกอกจนถึงสีน้ำตาลที่เป็นอนุพันธ์อย่างรวดเร็ว จึงเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร



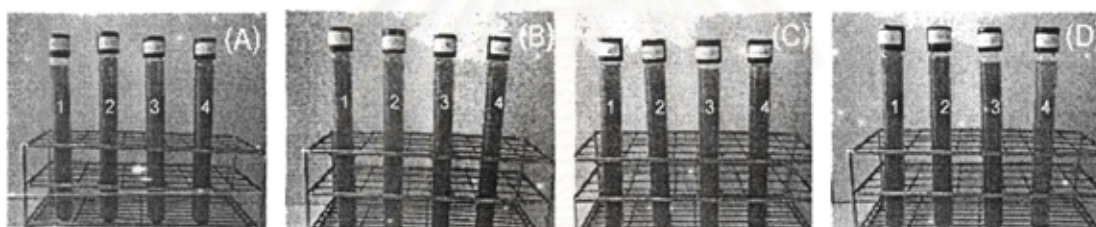
รูปที่ 2 ค่าการวัดสี (A) ค่าสีเขียว (B) ค่า Hue ที่ให้ความร้อนสารสกัดที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °C เป็นเวลา 0-30 นาที

ตารางที่ 5 ค่าการวัดสีสารสกัดใบเตยที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °C เป็นเวลา 0-30 นาที

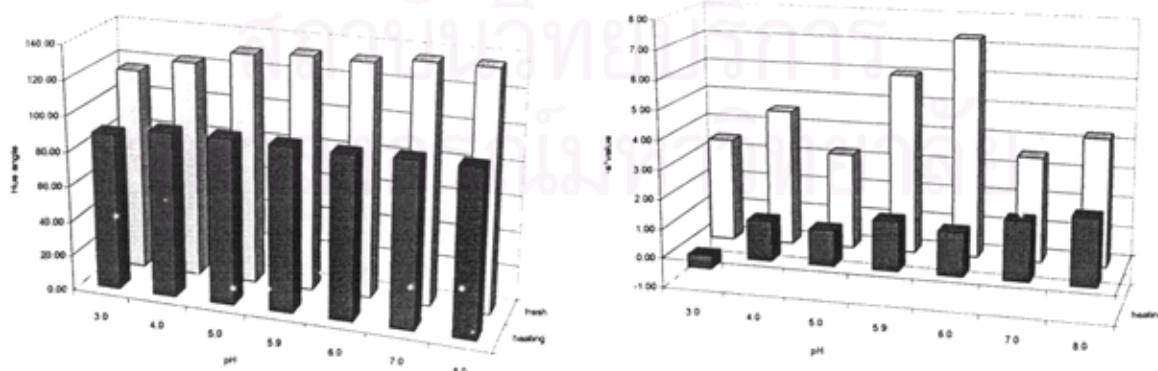
Temp (°C)	Time (min)	L*value	a* value	b*value	chroma	Hue
70	0	61.49 ± 0.40 ^a	-13.60 ± 0.06 ^a	45.29 ± 0.19 ^a	47.46 ± 0.24 ^a	106.63 ± 0.15 ^a
	5	58.49 ± 0.20 ^c	-6.35 ± 0.04 ^b	38.54 ± 0.03 ^b	39.27 ± 0.04 ^b	99.25 ± 0.06 ^b
	10	58.34 ± 0.17 ^c	-5.34 ± 0.03 ^c	37.68 ± 0.04 ^c	38.13 ± 0.03 ^c	97.90 ± 0.08 ^c
	15	58.51 ± 0.58 ^c	-4.71 ± 0.02 ^d	36.94 ± 0.11 ^d	37.25 ± 0.06 ^d	97.20 ± 0.00 ^d
	20	59.24 ± 0.25 ^b	-4.32 ± 0.05 ^e	36.42 ± 0.06 ^e	36.70 ± 0.01 ^e	96.65 ± 0.13 ^e
	25	58.45 ± 0.09 ^c	-4.19 ± 0.02 ^f	36.80 ± 0.07 ^e	36.80 ± 0.08 ^e	96.55 ± 0.17 ^e
	30	59.75 ± 0.62 ^b	-3.87 ± 0.01 ^g	35.79 ± 0.18 ^f	36.08 ± 0.23 ^f	96.18 ± 0.10 ^f
80	0	61.49 ± 0.40 ^a	-13.60 ± 0.06 ^a	45.29 ± 0.19 ^a	47.46 ± 0.24 ^a	106.63 ± 0.15 ^a
	5	58.11 ± 0.44 ^b	-5.10 ± 0.02 ^b	36.56 ± 0.08 ^b	37.01 ± 0.06 ^b	97.80 ± 0.08 ^b
	10	59.10 ± 0.10 ^b	-4.43 ± 0.05 ^c	35.55 ± 0.03 ^c	35.88 ± 0.09 ^c	97.00 ± 0.12 ^c
	15	58.79 ± 0.09 ^b	-3.91 ± 0.07 ^d	34.72 ± 0.23 ^d	34.85 ± 0.17 ^d	96.40 ± 0.18 ^d
	20	58.75 ± 0.46 ^b	-3.62 ± 0.02 ^e	34.11 ± 0.05 ^e	34.31 ± 0.04 ^e	96.00 ± 0.00 ^e
	25	58.78 ± 0.20 ^b	-3.53 ± 0.04 ^e	33.73 ± 0.03 ^f	33.96 ± 0.03 ^f	95.90 ± 0.00 ^e
	30	58.73 ± 1.86 ^b	-3.71 ± 0.42 ^{fg}	33.56 ± 0.08 ^f	33.77 ± 0.05 ^f	96.23 ± 0.67 ^{fg}
90	0	61.49 ± 0.40 ^a	-13.60 ± 0.06 ^a	45.29 ± 0.19 ^a	47.46 ± 0.24 ^a	106.63 ± 0.15 ^a
	5	57.93 ± 0.63 ^b	-3.91 ± 0.05 ^b	34.41 ± 0.06 ^b	34.41 ± 0.06 ^b	96.48 ± 0.13 ^b
	10	57.93 ± 0.06 ^b	-3.91 ± 0.42 ^b	34.41 ± 0.33 ^c	34.41 ± 0.33 ^c	96.48 ± 0.72 ^b
	15	58.24 ± 0.10 ^b	-3.44 ± 0.10 ^c	33.56 ± 0.32 ^d	33.56 ± 0.32 ^d	95.80 ± 0.12 ^c
	20	58.50 ± 0.81 ^b	-3.13 ± 0.06 ^d	33.17 ± 0.08 ^e	33.17 ± 0.08 ^e	95.35 ± 0.06 ^d
	25	58.37 ± 0.22 ^b	-3.09 ± 0.15 ^e	33.01 ± 0.08 ^e	33.01 ± 0.08 ^e	95.30 ± 0.23 ^d
	30	58.45 ± 0.44 ^b	-3.01 ± 0.01 ^e	32.39 ± 0.05 ^f	32.60 ± 0.12 ^f	95.05 ± 0.33 ^d
100	0	61.49 ± 0.40 ^a	-13.60 ± 0.06 ^a	45.29 ± 0.19 ^a	47.46 ± 0.24 ^a	106.63 ± 0.15 ^a
	5	57.67 ± 0.18 ^c	-3.30 ± 0.03 ^b	33.30 ± 0.11 ^b	33.47 ± 0.08 ^b	95.65 ± 0.06 ^b
	10	58.03 ± 0.11 ^b	-3.10 ± 0.12 ^c	32.54 ± 0.12 ^c	32.76 ± 0.13 ^c	95.33 ± 0.21 ^c
	15	58.05 ± 0.06 ^b	-2.91 ± 0.10 ^d	31.99 ± 0.04 ^d	32.12 ± 0.07 ^d	95.15 ± 0.17 ^{cd}
	20	58.05 ± 0.09 ^c	-2.79 ± 0.11 ^e	31.54 ± 0.14 ^e	31.54 ± 0.14 ^e	95.08 ± 0.21 ^d
	25	57.96 ± 0.18 ^{bc}	-2.77 ± 0.10 ^e	31.30 ± 0.16 ^e	31.03 ± 0.09 ^f	94.95 ± 0.06 ^d
	30	57.89 ± 0.17 ^{bc}	-2.78 ± 0.06 ^e	30.76 ± 0.07 ^f	30.91 ± 0.09 ^f	95.05 ± 0.06 ^d

3) ปัจจัยด้านอุณหภูมิร่วมกับสถานะความเป็นกรด-ด่าง

การให้ความร้อนกับสารสกัดใบเตยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ พบว่าส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแสดงในรูปที่ 3 ในสถานะที่มีความเป็นกรดสูง (pH 3) สารสกัดจะมีสีเขียวมะกอกตั้งแต่ยังไม่ให้ความร้อนและเมื่อให้ความร้อน 70-90 °C ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว และพบเช่นเดียวกันในสารสกัดที่เป็นกรดอ่อน (pH 5) ในขณะที่สถานะเป็นกลางจนถึงด่าง (pH 7 และ 9) เมื่อให้ความร้อนพบว่ายังคงสีเขียวแต่เกิดการตกตะกอนของคลอโรฟิลล์อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อให้ความร้อนสูงในระดับที่ใช้ทางการค้าในการฆ่าเชื้อในอาหารกระป๋อง (commercial sterilize) แสดงในรูปที่ 3 พบว่าค่าสีเขียว และค่า Hue ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดใบเตยจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างชัดเจน แสดงว่าความร้อนในระดับนี้ทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนรูปเป็นอนุพันธ์ทั้งหมดจนเกิดสีน้ำตาลทั้งหมด



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัด (A) pH 3 (B) pH 5 (C) pH 7 (D) pH 9 เมื่อให้ความร้อน (1) ควบคุม, (2) ให้ความร้อน 70 °C (3) ให้ความร้อน 80 °C และ (4) ให้ความร้อน 90 °C



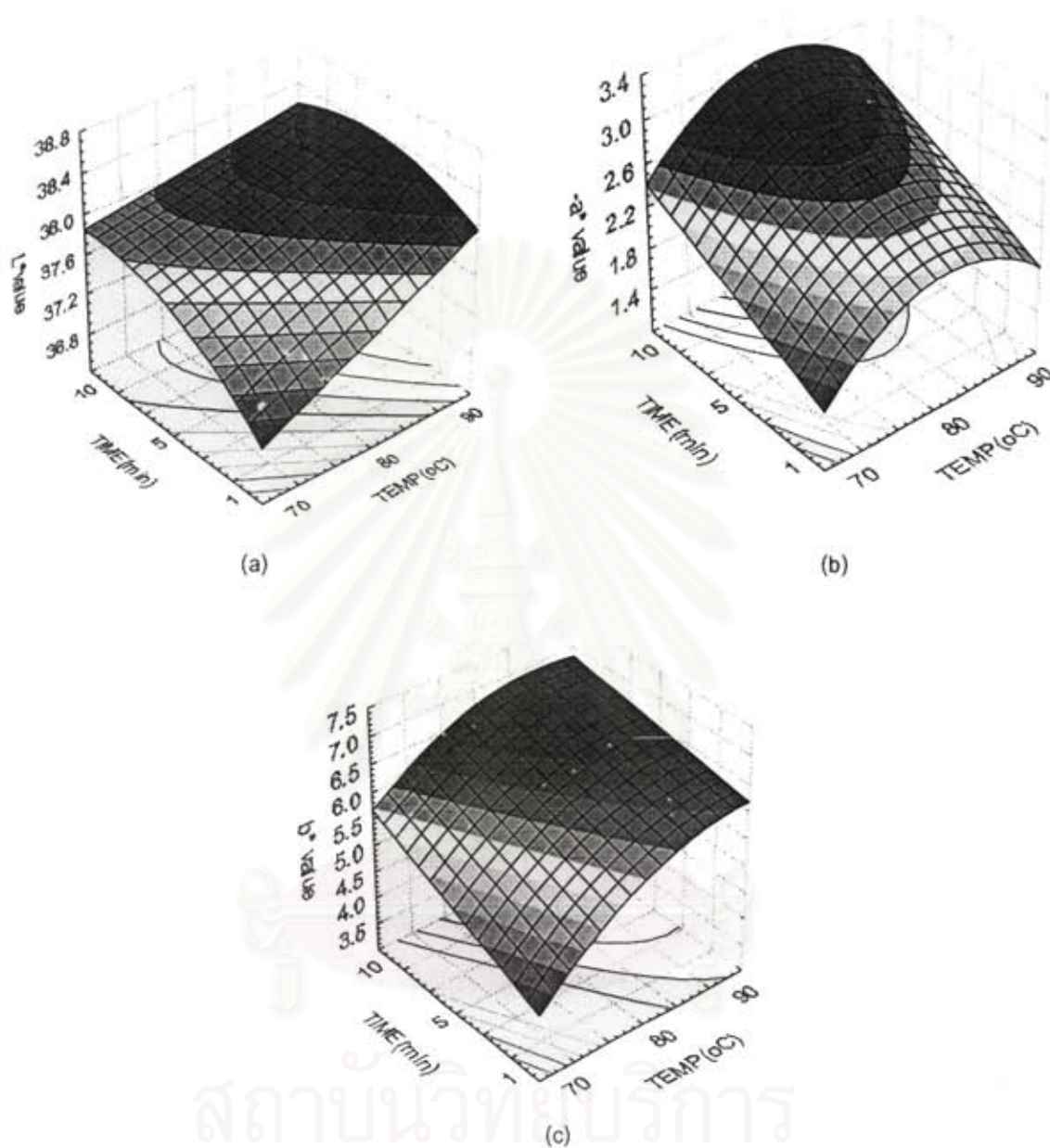
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัด pH 3 – 8 โดยที่ □ สารสกัดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และ ■ สารสกัดผ่านความร้อน 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

ตารางที่ 6 ค่าการวัดสีสารสกัดใบเตยชุดควบคุมและที่ให้ความร้อน 121 °C 15 นาที ที่ค่า pH 3.0-8.0

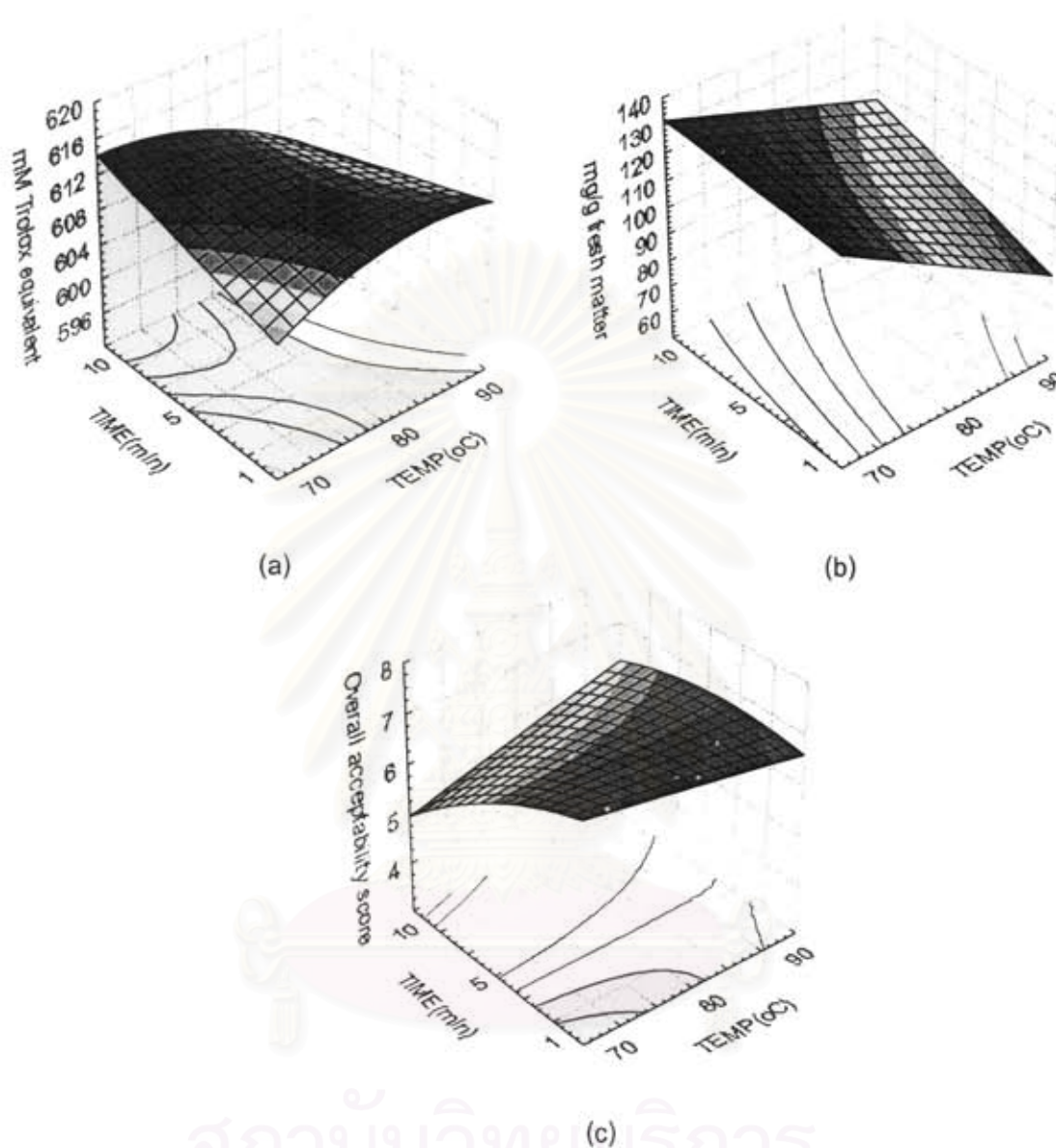
Treatment	pH	L*value	a* value	b*value	chroma	Hue
Control	3.0	4.37 ± 0.01 ^a	-3.47 ± 0.06 ^d	7.08 ± 0.03 ^b	7.75 ± 0.03 ^b	115.80 ± 0.36 ^a
	4.0	4.36 ± 0.02 ^a	-4.58 ± 0.11 ^c	6.85 ± 0.04 ^b	8.23 ± 0.04 ^b	123.50 ± 0.72 ^d
	5.0	2.47 ± 0.01 ^c	-3.24 ± 0.10 ^d	3.71 ± 0.05 ^a	5.09 ± 0.05 ^c	131.40 ± 0.00 ^c
	5.9	3.89 ± 0.03 ^b	-6.02 ± 0.12 ^b	6.27 ± 0.02 ^c	8.50 ± 0.02 ^b	133.40 ± 0.56 ^b
	6.0	4.81 ± 0.04 ^a	-7.35 ± 0.06 ^a	7.71 ± 0.04 ^a	10.57 ± 0.04 ^a	132.97 ± 0.06 ^b
	7.0	2.20 ± 0.01 ^c	-3.53 ± 0.06 ^d	3.40 ± 0.02 ^a	2.20 ± 0.02 ^d	136.13 ± 1.27 ^a
	8.0	2.66 ± 0.00 ^c	-4.28 ± 0.11 ^c	4.17 ± 0.07 ^d	5.94 ± 0.07 ^c	136.17 ± 0.25 ^a
Heating 121°C 15 min.	3.0	31.57 ± 0.01 ^a	0.44 ± 0.02 ^d	33.24 ± 0.04 ^a	33.25 ± 0.04 ^a	89.20 ± 0.17 ^c
	4.0	53.93 ± 0.12 ^a	-1.36 ± 0.01 ^c	20.31 ± 0.02 ^d	20.23 ± 0.02 ^d	93.70 ± 0.00 ^b
	5.0	50.62 ± 0.33 ^a	-1.21 ± 0.02 ^c	23.70 ± 0.10 ^a	22.73 ± 0.10 ^a	94.07 ± 0.06 ^a
	5.9	50.06 ± 0.02 ^a	-1.67 ± 0.02 ^c	25.01 ± 0.00 ^d	25.01 ± 0.00 ^d	93.73 ± 0.06 ^b
	6.0	48.46 ± 0.05 ^b	-1.47 ± 0.02 ^c	25.88 ± 0.03 ^d	25.92 ± 0.03 ^d	93.10 ± 0.00 ^b
	7.0	49.75 ± 0.05 ^b	-1.98 ± 0.02 ^b	26.48 ± 0.03 ^c	26.59 ± 0.03 ^c	94.17 ± 0.06 ^a
	8.0	43.31 ± 0.04 ^c	-2.25 ± 0.03 ^a	30.68 ± 0.02 ^b	30.83 ± 0.02 ^b	94.17 ± 0.06 ^a

ตอนที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพสารสกัดใบเตยหอมโดย Response Surface Methodology (RSM)

สภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนก่อนการแปรรูป ที่ประกอบด้วยปัจจัยด้านอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ ต่อการปรับปรุงคุณภาพของสารสกัดใบเตยหอม ด้านเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5 และ response surface แสดงในรูปที่ 5 และ 6 และสมการรีเกรสชันที่แสดงความสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 8 ซึ่งผลการศึกษพบว่า



รูปที่ 5 กราฟ response surface ระหว่างอุณหภูมิและเวลา โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm ของการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป (a) ค่าสี (L^* value) (b) ค่าสี ($-a^*$ value) (c) ค่าสี (b^* value)



รูปที่ 6 กราฟ response surface ระหว่างอุณหภูมิและเวลา โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm ของการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป (a) ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (b) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (c) ค่าการยอมรับประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม

ตารางที่ 7 ผลของขั้นตอนก่อนการแปรรูป (pre-treatment) ต่อค่าสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของสารสกัดใบเตยหอม

Experiment number	Variables			Responses								
	temp(°C)	time(min)	zinc(ppm)	Color values			Chlorophylls		Antioxidant	Sensory acceptability		
	X ₁ x ₁	X ₂ x ₂	X ₃ x ₃	L*	a*	b*	a	b	ABTS (µM TE)	color	aroma	overall
1	70(-1)	5(0)	2600(0)	37.77 ± 0.02 ^{bc}	-1.71 ± 0.01 ^d	4.54 ± 0.02 ^b	109.0 ± 1.6 ^{bcd}	35.24 ± 3.0 ^{ef}	600.7 ± 0.6 ^h	6.3 ± 0.5 ^d	6.0 ± 1.6 ^{bcdef}	6.9 ± 0.7 ^{ab}
2	90(+1)	5(0)	2600(0)	38.31 ± 0.03 ^h	-1.92 ± 0.04 ^a	6.25 ± 0.06 ^a	73.8 ± 1.0 ^f	20.47 ± 1.5 ^a	615.6 ± 0.8 ^{abc}	5.3 ± 0.8 ^f	5.6 ± 1.0 ^{cdef}	5.6 ± 0.5 ^{ef}
3	80(0)	1(-1)	2600(0)	37.47 ± 0.01 ^c	-2.27 ± 0.02 ^h	5.09 ± 0.02 ^c	114.2 ± 2.2 ^{bcd}	34.60 ± 4.6 ^{def}	614.9 ± 0.7 ^{abcd}	6.3 ± 0.5 ^d	5.6 ± 1.3 ^{cdef}	6.4 ± 0.5 ^{bc}
4	80(0)	10(+1)	2600(0)	38.27 ± 0.02 ^{gh}	-2.18 ± 0.01 ^g	6.44 ± 0.03 ^f	90.2 ± 1.3 ^e	28.19 ± 3.6 ^{bc}	608.1 ± 1.6 ^g	4.7 ± 0.5 ^g	5.1 ± 1.5 ^{def}	4.9 ± 0.6 ^{gh}
5	80(0)	5(0)	1300(-1)	38.07 ± 0.01 ^g	-2.20 ± 0.02 ^g	6.03 ± 0.01 ^f	93.2 ± 1.2 ^e	32.23 ± 0.1 ^{abc}	608.1 ± 1.1 ^g	5.6 ± 0.5 ^{ef}	5.0 ± 1.2 ^{def}	5.3 ± 0.7 ^{gh}
6	80(0)	5(0)	5200(+1)	38.26 ± 0.01 ^{gh}	-2.05 ± 0.02 ^f	6.08 ± 0.02 ^f	89.9 ± 0.1 ^e	30.76 ± 0.5 ^{cd}	607.9 ± 1.5 ^g	4.1 ± 0.3 ^h	4.8 ± 1.1 ^{ef}	4.3 ± 0.5 ^{hi}
7	90(+1)	10(+1)	5200(+1)	38.38 ± 0.01 ^h	-1.36 ± 0.04 ^b	6.81 ± 0.01 ^h	56.6 ± 0.5 ^h	25.24 ± 0.7 ^b	616.6 ± 1.1 ^a	2.7 ± 0.5 ⁱ	4.7 ± 1.8 ^f	3.5 ± 0.5 ⁱ
8	70(-1)	10(+1)	5200(+1)	37.76 ± 0.01 ^{ef}	-1.91 ± 0.01 ^a	5.61 ± 0.00 ^f	94.2 ± 3.0 ^e	30.45 ± 0.8 ^{cd}	611.9 ± 1.2 ^a	4.1 ± 0.6 ^h	6.5 ± 1.0 ^{bc}	5.5 ± 0.7 ^{gh}
9	90(+1)	1(-1)	5200(+1)	37.88 ± 0.03 ^f	-2.43 ± 0.08 ^f	5.83 ± 0.04 ^h	92.8 ± 0.2 ^e	35.95 ± 1.4 ^{ef}	615.3 ± 0.6 ^{abc}	6.2 ± 0.6 ^d	5.5 ± 1.8 ^{cdef}	5.8 ± 0.6 ^{cdef}
10	70(-1)	1(-1)	5200(+1)	37.12 ± 0.01 ^b	-2.39 ± 0.02 ^f	4.50 ± 0.01 ^b	120.1 ± 1.2 ^a	35.83 ± 2.8 ^{ef}	594.1 ± 0.8 ^f	7.6 ± 0.5 ^b	7.2 ± 0.8 ^{ab}	6.9 ± 0.9 ^{ab}
11	90(+1)	10(+1)	1300(-1)	38.02 ± 0.02 ^f	-2.51 ± 0.02 ^f	6.42 ± 0.03 ^f	104.6 ± 5.2 ^{cd}	48.72 ± 3.3 ^g	607.9 ± 1.1 ^g	3.5 ± 0.5 ⁱ	5.9 ± 1.5 ^{cdef}	4.2 ± 0.4 ⁱ
12	70(-1)	10(+1)	1300(-1)	37.69 ± 0.00 ^d	-2.21 ± 0.03 ^g	5.49 ± 0.02 ^g	121.2 ± 7.4 ^a	46.01 ± 2.9 ^g	607.4 ± 1.5 ^g	6.0 ± 0.7 ^{de}	5.6 ± 1.1 ^{cdef}	5.7 ± 0.5 ^{def}
13	90(+1)	1(-1)	1300(-1)	38.18 ± 0.02 ^f	-1.59 ± 0.03 ^c	6.10 ± 0.02 ^f	65.0 ± 5.6 ^g	29.74 ± 3.0 ^c	616.6 ± 0.4 ^b	3.3 ± 0.5 ⁱ	5.1 ± 1.4 ^{def}	4.3 ± 0.5 ^{hi}
14	70(-1)	1(-1)	1300(-1)	36.81 ± 0.01 ^a	-1.24 ± 0.03 ^a	4.00 ± 0.02 ^a	124.5 ± 0.5 ^a	44.52 ± 2.3 ^g	610.0 ± 0.8 ^f	8.3 ± 0.5 ^a	8.3 ± 0.7 ^a	7.4 ± 0.8 ^a
15	80(0)	5(0)	2600(0)	37.79 ± 0.01 ^d	-2.64 ± 0.01 ^h	5.84 ± 0.02 ^h	100.8 ± 0.8 ^d	36.04 ± 0.8 ^{ef}	613.3 ± 0.5 ^{de}	7.3 ± 0.5 ^{bc}	5.6 ± 1.1 ^{cdef}	6.4 ± 1.1 ^{bc}
16	80(0)	5(0)	2600(0)	37.73 ± 0.04 ^a	-2.75 ± 0.01 ^h	5.76 ± 0.02 ^g	102.9 ± 3.4 ^{cd}	37.64 ± 1.5 ^f	613.8 ± 0.4 ^{cd}	7.1 ± 0.6 ^{bc}	6.3 ± 1.2 ^{abc}	6.2 ± 0.6 ^{cde}
17	80(0)	5(0)	2600(0)	37.74 ± 0.02 ^a	-2.67 ± 0.05 ^h	5.84 ± 0.01 ^h	105.5 ± 6.3 ^{cd}	36.62 ± 2.4 ^{ef}	614.9 ± 0.4 ^{abcd}	7.0 ± 0.8 ^c	6.1 ± 0.9 ^{bcde}	6.4 ± 0.7 ^{bc}
18	80(0)	5(0)	2600(0)	37.83 ± 0.02 ^b	-2.70 ± 0.01 ^h	5.73 ± 0.05 ^g	105.7 ± 3.7 ^{cd}	36.13 ± 2.9 ^{ef}	614.9 ± 0.4 ^{abcd}	7.1 ± 0.7 ^{bc}	6.1 ± 1.0 ^{bcde}	6.4 ± 0.5 ^{bc}
19	80(0)	5(0)	2600(0)	37.87 ± 0.02 ^f	-2.73 ± 0.02 ^h	5.54 ± 0.05 ^a	106.0 ± 2.2 ^{cd}	37.01 ± 2.8 ^{ef}	614.0 ± 0.7 ^{abcd}	7.0 ± 0.8 ^c	6.0 ± 0.9 ^{bcdef}	6.3 ± 0.7 ^{bcd}

ตารางที่ 8 ค่า Regression coefficient, R² และ p (probability) ของค่าทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของสารสกัดใบเตยหอมเมื่อผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป

regression coefficient	Physicochemical						Sensory Acceptability		
	L*	-a*	b*	chlorophyll a	chlorophyll b	antioxidant	color	aroma	overall
b ₀	37.917**	2.501**	5.764**	100.796**	34.159**	612.420**	6.562**	5.675**	6.110**
temp	0.362**	0.036	0.726**	-17.624**	-3.193**	4.787**	-1.130**	-0.680**	-0.900**
time	0.265**	0.024	0.524**	-4.980**	-0.202	0.105	-1.070**	-0.390**	-0.700**
zinc	0.063*	0.040	0.080**	-5.494**	-4.298	-0.427**	-0.200*	-0.120	-0.090
temp*time	-0.148**	-0.080	-0.163**	4.054*	1.520	-2.828**	-0.083	0.556*	0.427**
temp*zinc	-0.038	-0.144**	-0.062*	1.389	0.873	2.360**	-1.039**	-0.344	-1.023**
time*zinc	0.052	-0.430**	0.035	-12.308**	-4.570**	3.779**	-0.389*	0.106	-0.173
temp ²	-0.036	-0.442**	-0.399**	-5.150	-1.803	-2.077*	0.313**	0.425**	0.087
time ²	-0.206**	-0.034	-0.027	5.653	1.737	1.283	-0.613**	0.050	-0.238**
zinc ²	0.094	-0.132	0.264**	-4.989	1.841	-2.197*	0.588**	-0.075	0.188*
r ²	0.850	0.820	0.965	0.861	0.527	0.804	0.753	0.224	0.654
significant	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

** Significant p <0.01, * Significant p<0.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) ค่าการวัดสี

ข้อจำกัดของสารสกัดใบเตยสดที่ไม่ผ่านขั้นตอนก่อนการแปรรูป คือเกิดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเน่าเสียอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าจะเกิดการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลใน 3 ชั่วโมง ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และคลอโรฟิลเลส (Funamoto *et al*, 2002) และเชื้อจุลินทรีย์ แต่เมื่อผ่านขั้นตอนก่อนการแปรรูปทำให้การเสื่อมเสียดังกล่าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เพราะความร้อนช่วยทำลายเอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนก่อนการแปรรูปมีผลทำให้ค่าสี L^* , $-a^*$ และ b^* สูงขึ้น (รูปที่ 5 และ 6) และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือ อุณหภูมิ 70 °C เวลา 1 นาที และความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm

2) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี

พบว่าในใบเตยสดก่อนผ่านขั้นตอนก่อนการแปรรูปเท่ากับ 186.3 $\mu\text{g/g}$ fw และ 83.14 $\mu\text{g/g}$ fw ตามลำดับ เมื่อผ่านการให้ความร้อนในเวลาที่กำหนดในสภาวะที่มีซิงค์คลอไรด์พบว่าลดลงไป 33-77% เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงและเวลานานทำให้เกิดการสูญเสียสูงขึ้น (รูปที่ 6) สภาวะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงที่สุดคืออุณหภูมิ 70 °C เวลา 1 นาที และความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ ที่ระดับ 1300 ppm

3) ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อผ่านขั้นตอนก่อนการแปรรูปทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นจากเริ่มต้น 557.9 $\mu\text{M TE/g}$ เป็น 594-616 $\mu\text{M TE/g}$ เนื่องจากขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบมีผลให้เปลี่ยนรูปคลอโรฟิลล์ให้อยู่ในรูป metallo-chlorophyll ที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Ferruzzi *et al*, 2002). เมื่อให้ความร้อนและเวลาสูงขึ้นทำให้สารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นด้วย ซึ่งเกิดเนื่องจากคลอโรฟิลล์เปลี่ยนรูปเป็นอนุพันธ์ เช่น pheophytin และ pheophorbide ที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ จากทดลองพบว่า อุณหภูมิ 70 °C เวลา 1 นาที และความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงขึ้นเป็น 610 $\mu\text{M TE/g}$ ในขณะที่ภาวะ 90 °C เวลา 10 นาที และความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 5200 ppm ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดที่ 616 $\mu\text{M TE/g}$ แต่อย่างไรก็ตามที่ภาวะดังกล่าวมีผลกระทบต่อดีกรีปริมาณคลอโรฟิลล์และทำให้ค่าการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

4) การยอมรับทางประสาทสัมผัส

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบของสารสกัดใบเตยหอมทำให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น และการยอมรับโดยรวมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการให้ความร้อนในอุณหภูมิเวลาและความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่เหมาะสมทำให้สีเขียวเกิดความคงตัว นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยทำลายกลิ่นเหม็นเขียวและทำให้สาร 2-AP ที่ให้กลิ่นหอมเฉพาะของใบเตยหอมเด่นขึ้นจึงทำให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสารสกัดใบเตยสด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chaiseri (2005) รายงานว่าความร้อนทำให้กลิ่นใบเตยหอมชัดเจนขึ้นแต่ถ้าให้ความร้อนมากเกินไป ทำให้เกิดกลิ่นหวนและกลิ่นคล้ายใบยาสูบ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิ 70 °C เวลา 1 นาที และความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm ทำให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด

4. สรุปผลการทดลอง

สีเขียวของสารสกัดใบเตยมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด ต่าง เมื่อมีความเป็นกรดมากขึ้นการเกิดสีน้ำตาลยิ่งมากขึ้น และในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้สารสกัดที่ได้มีสีเขียวสด ความร้อนทำให้สีเขียวของสารสกัดใบเตยเปลี่ยนเป็นสีเขียวมะกอกจนถึงสีน้ำตาล การเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูปมีความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี กายภาพและค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยกระบวนการจัดการวัตถุดิบก่อนการแปรรูปมีผลทำให้ทั้งในด้านของสีของสารสกัดใบเตยหอมมีความคงตัวมากขึ้น ช่วยทำลายกลิ่นเหม็นเขียวทำให้กลิ่นใบเตยชัดเจนขึ้น และนอกจากนี้ยังส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 70 °C เวลา 1 นาที และความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ระดับ 1300 ppm เป็นสภาวะที่ช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของสารสกัดใบเตยหอม

5. เอกสารอ้างอิง

- Canjura FL, Wilkins RH, and Schwartz SJ. 1999. Color improvement and metallo-chlorophyll complexes in continuous-flow aseptically processed peas. Journal of food science. 64(4):987-90.
- Ferruzzi M.G., Bohm, V., Courtney P.D., and Schwartz, S.J. 2002. Antioxidant and antimutagenic activity of chlorophyll derivatives determined by radical scavenging and bacterial reverse mutagenesis assay. Journal of food science. 7: 2589-2595.
- Guzman G.R., Dorantes, U.H. Hernandez, S.H. Hernandez, A. Ortiz, E.R. and Moran (2002). Effect of zinc and copper chloride on color of avocado puree heated with microwaves. Innovative Food Science & Emerging Technology 3; 47-53.
- Maisuthisakul, P., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. 2006. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. Food Chemistry. Article in press.
- Ngo T and Zhao Y, 2005. Retaining green pigments on thermally processed peel-on green pears. Journal of food science 70(9): C 568-C574.
- Steet, J.A. and Tong, C.H. (1996). Degradation kinetics of green colour and chlorophyll in peas by colorimetry and HPLC, Journal of Food Science, 61, 924±927, 931.
- Thaiponga, K., Boonprakoba U, Crosbyb K., Cisneros-Zevallosc, L., and Byrne, D. H. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. Journal of Food Composition and Analysis. 19: 669-675.

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 2

กระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปล้วยหอม

Musa acuminata, Linn. เพื่อเป็นอาหารหน้าที่เฉพาะ

Enzyme Processing of Banana *Musa acuminata*, Linn. Syrup for Fractional Food

โดย นางสาวสมฤดี ไทพาณิชย์ และ รศ.ดร. ปราณี อานเป็รื่อง

ตอนที่ 1

ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ และการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด

Physicochemical characteristics of raw material and control the browning of banana pulp

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง (*Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel') ระหว่างการสุก 3 ระยะ คือ ระยะ 6 ระยะ 7 และระยะ 8 เพื่อคัดเลือกระยะการสุกที่เหมาะสม สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการหากระบวนการทางเอนไซม์สำหรับแปรรูปไซรัปล้วยหอมเพื่อเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ จากการศึกษาพบว่า เนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมีระยะการสุกมากขึ้น แอททิวิตีของการกำจัดอนุมูลอิสระ ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดที่โตเตรตได้ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และแอททิวิตีของสารฟรีไบโอดีทิกในเนื้อกล้วยหอมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$) จากการศึกษาหาชนิดสารให้กลิ่นที่ระเหยได้โดยใช้เทคนิค SHA/GC/MS พบว่ามีสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ทั้งหมด 17 ชนิด ทั้งนี้ชนิดของสารที่พบในเนื้อกล้วยหอมจะแตกต่างกันตามระยะการสุก และเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีสารที่ทำให้เกิดกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของกล้วยเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ได้แก่ 3-Methylbutyl ester, 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester และ Phenylmethyl ester ดังนั้นจึงเลือกใช้เนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปไซรัปล้วยหอม จากการศึกษาภาวะการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด โดยแปรรยะเวลาการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำเดือดนาน 0-5 นาที ร่วมกับการใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล 2 ชนิด คือ กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิก ปริมาณ 0-3.00 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเนื้อกล้วยหอม พบว่า เมื่อให้ความร้อนจนผลกล้วยหอมมีอุณหภูมิ 85°C นาน 5 นาที ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.50 % โดยน้ำหนัก สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบดได้อย่างสมบูรณ์

1. บทนำ

กล้วยหอมพันธุ์หอมทองเป็นผลไม้มีกลิ่นหอมเย็น และมีรสชาติชวนให้บริโภค กลิ่นหอมเย็นของเนื้อกล้วยหอมเป็นสารประกอบในกลุ่ม Isopentyl acetate และ Isobutyl acetate เป็นส่วนใหญ่ และอุดมด้วยวิตามิน A B₆ และ C นอกจากนี้เนื้อกล้วยหอมยังเป็นแหล่งสำคัญของเส้นใยอาหารกลุ่มสารประกอบ เพกทิน กลุ่มพรีไบโอติก ได้แก่ อินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ อีกทั้งเนื้อกล้วยหอมยังเป็นแหล่งสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ทั้งในกลุ่มวิตามิน กลุ่มแคโรทีนอยด์ และกลุ่มสารประกอบฟีนอล แต่ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อกล้วยหอมที่มีในปัจจุบัน เช่น กล้วยหอมทอดกรอบปรุงรส กล้วยหอมผง และน้ำเชื่อมกล้วยหอมยังขาดคุณสมบัติที่สำคัญในการเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการทำลาย หรือการกำจัดองค์ประกอบตามธรรมชาติที่มีหน้าที่เฉพาะของเนื้อกล้วยหอมออกไป จากมูลฐานด้านลักษณะเด่นของกล้วยหอมในประเทศไทย ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นแนวทางการแปรรูปกล้วยหอม โดยใช้กระบวนการทางเอนไซม์ผลิตไซรัปกล้วยหอมที่มีเส้นใยอาหาร ทั้งในกลุ่มเพกทิน และกลุ่มพรีไบโอติก มีสี และกลิ่นหอมเย็นตามธรรมชาติของเนื้อกล้วยหอมสุกเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ สามารถนำไปเสริมในอาหาร และผลิตภัณฑ์ที่มีกล้วยหอมเป็นส่วนองค์ประกอบได้ โดยกำหนดนิยามของไซรัปกล้วยหอมที่มีหน้าที่เฉพาะ คือ ของเหลว เนื้อเนียน สีเหลือง ทำจากเนื้อกล้วยหอมบด มาผ่านเทคนิคการเตรียม และเทคโนโลยีการควบคุมการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

งานวิจัยนี้ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมในระหว่างการสุก เพื่อทดลองหาระยะการสุกที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นไซรัปกล้วยหอม หากกระบวนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด กระบวนการแปรรูปด้วยเทคโนโลยีเอนไซม์เพคตินเนสทางการค้า วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะ และสมบัติเชิงหน้าที่ของไซรัปกล้วยหอมที่ผลิตได้ และการทดลองใช้เป็นสารปรุงแต่งสี กลิ่นรสกล้วยหอม และใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมไทย

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัตถุประสงค์

กล้วยหอมพันธุ์หอมทอง [*Musa acuminata* AAA Group 'Gross Michel'] ที่ได้จากห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ สาขาบางแค จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยจะเลือกซื้อกล้วยที่สุกในระยะที่ 1 คือ เปลือกกล้วยมีสีเขียว และผลมีความแข็ง จากนั้นนำมาตัดแบ่งเป็นผล แล้วนำมาบ่มให้สุกในกล่องไม้ที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิ $32 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้น 70–75% เมื่อกล้วยสุกถึงระยะที่ต้องการ ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของสีเปลือก จึงสุ่มตัวอย่างออกมาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง

ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอม พันธุ์หอมทอง 3 ระยะ คือ 6, 7 และ 8 กับสมบัติทางเคมีกายภาพ ด้านแอกทิวิตีการกำจัดอนุมูลอิสระ สี ปริมาณความชื้น pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ค่าแอกทิวิตีของสารฟรีไบโอติก และสารระเหยได้ เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเมื่อผลกล้วยเริ่มสุกจนสุกงอม วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (Montgomery, 2001)

2.2 เลือกภาวะการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

กล้วยหอมหลังจากปอกเปลือก และหั่น จะเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว และจะเกิดสีน้ำตาลคล้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้น ขั้นตอนนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อให้เป็นภาวะในการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบดสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมในขั้นตอนต่อไป โดยใช้กล้วยหอมที่มีระยะการสุกที่ได้จากข้อ 2.1 เป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเดือด ชนิดสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และปริมาณสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้

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

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลการวิจัย

1. ลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง

ตารางที่ 9 ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกระยะต่างๆ

Ripening stages	Free radical-scavenging activity	
	DPPH assay	ABTS assay
	(1/EC ₅₀ , µg DPPH/µg FM)	(TEAC, mM TE/g FM)
6	2.25 ^c ±0.02	23.29 ^c ±0.04
7	2.95 ^b ±0.01	25.69 ^b ±0.03
8	3.06 ^a ±0.02	33.64 ^a ±0.03

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวดิ่งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

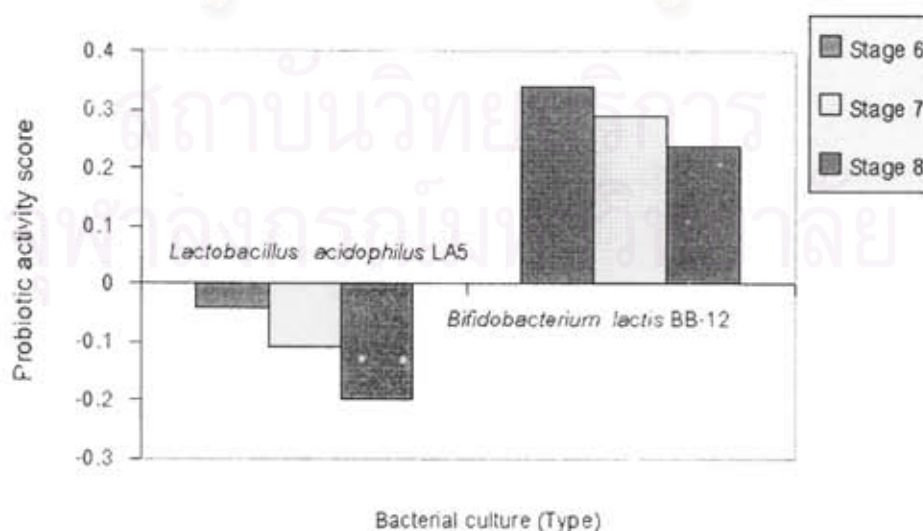
จากตารางที่ 9 ค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง 3 ระยะการสุกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.25-3.06 µgDPPH/µgFM (0.33-0.44 µg FM/µg DPPH) และเมื่อเปรียบเทียบค่าดังกล่าวกับผลจากการศึกษาโดย Maisuthisakul และคณะ (2007) พบว่าเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าส่วนต่างๆของผลไม้ ผัก และสมุนไพรหลายชนิด เช่น เนื้อลูกพลับ เปลือกมังคุด และผักปลัง เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระในรูปของค่า TEAC ของกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 23.29-33.64 mM TE/g FM กับค่า TEAC ของผลไม้อื่นๆที่มีการระบุว่าเป็นผลไม้ที่มีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น บลูเบอร์รี่ ซึ่งศึกษาโดย Prior และคณะ (1998) ที่มีค่า TEAC อยู่ในช่วง 13.9-45.9 mM TE/g FM จะเห็นว่าเนื้อกล้วยหอมมีค่า TEAC อยู่ในช่วงเดียวกับค่า TEAC ของบลูเบอร์รี่ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่ากล้วยหอมพันธุ์หอมทองเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูง

จากวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าเมื่อกล้วยหอมมีระยะการสุกมากขึ้นจะมีค่าแอกทิวิตีของการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 10 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ที่สุกในระยะต่างๆ

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

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 7 แอกทิวิตีของสารโปรไบโอติกของเนื้อกล้วยหอมสุกในระยะต่างๆ

ตารางที่ 11 สารระเหยได้จากเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองที่สุกระยะต่างๆ

วิเคราะห์ด้วยเทคนิค

SHA/GC/MS

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

หมายเหตุ: √ ตรวจพบ

จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสุกของกล้วยหอมพันธุ์หอมทองกับค่าสี (color) ปริมาณความชื้น (moisture) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ทั้งหมด (TA) ในรูปของกรดซิตริก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) และค่าแอกทิวิตีของสารฟิโบริโอติก ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 11 และรูปที่ 7 เมื่อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมีระยะการสุกมากขึ้น ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และแอกทิวิตีของสารฟิโบริโอติกในเนื้อกล้วยหอมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$) จากการตรวจหาชนิดสารให้กลิ่นที่ระเหยได้โดยใช้เทคนิค SHAGC/MS พบว่ามีสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ทั้งหมด 17 ชนิด ทั้งนี้ชนิดของสารที่พบในเนื้อกล้วยหอมจะแตกต่างกันตามระยะการสุก และเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีสารที่ทำให้เกิดกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของกล้วยเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ได้แก่ 3-Methylbutyl ester, 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester และ Phenylmethyl ester ดังแสดงโดยตารางที่ 11 ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Macku และ Jennings (1987) ที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่สามารถระเหยได้ระหว่างการพัฒนาของกล้วย พบว่ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเปลือกกล้วยเริ่มมีสีน้ำตาล จากนั้นจะมีปริมาณลดลงเมื่อกล้วยสุกเต็มที่ นอกจากนี้ผลที่ได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tressel และ Jennings (1972) และ Mayr และคณะ (2003) ที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่สามารถระเหยได้ง่ายในเนื้อกล้วย โดยพบว่า Isoamyl butyrate เป็นสารประกอบหลักในกล้วยสุก และทำให้ออกกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ ดังนั้นจึงเลือกใช้เนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปกล้วยหอม

2 เลือกภาวะการเตรียมเนื้อกล้วยหอมบด เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

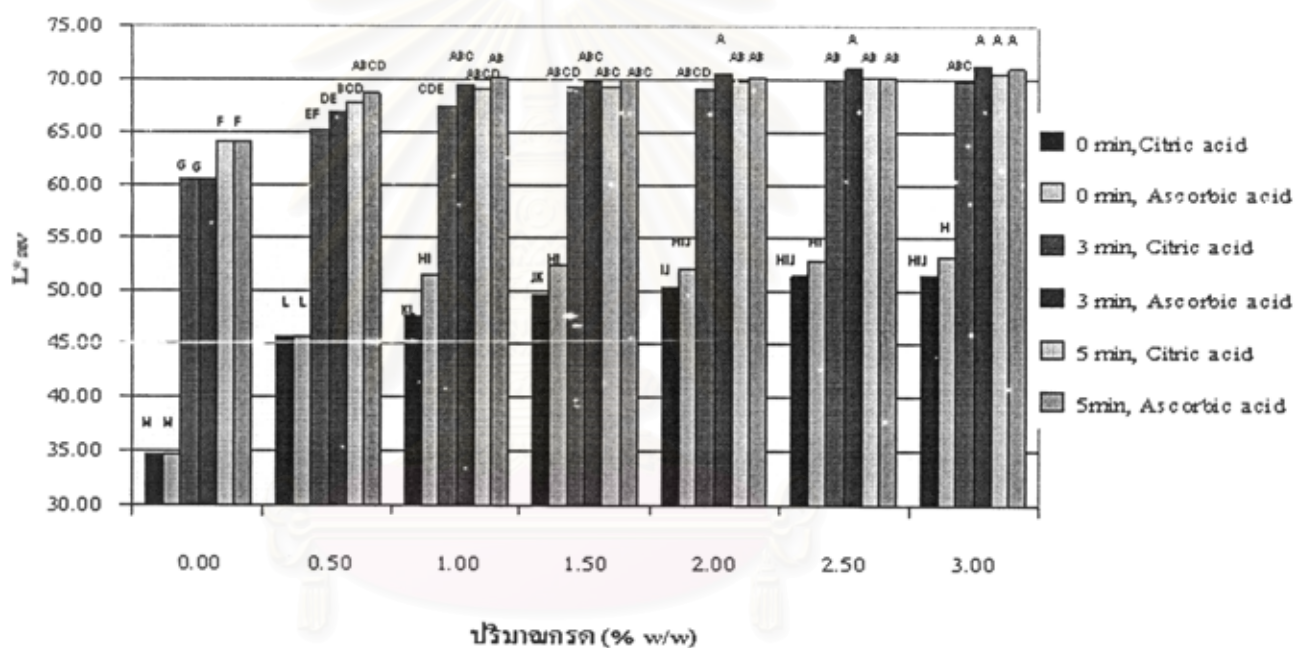
จากการทดลองพบว่าเมื่อเนื้อกล้วยบดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ความสว่าง (L^*) ที่วัดได้จะมีค่าลดลงมาก ดังนั้นค่า L^* จึงเป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลได้ชัดเจนที่สุด โดยค่า L^* ที่ลดลงจะแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น

เมื่อนำผลกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มาให้ความร้อน โดยใช้ไอน้ำเดือดจนจุดกึ่งกลางของผลกล้วยมีอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที และ 5 นาที โดยไม่มีการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เนื้อกล้วยหอมบดที่ได้จะเกิดสีน้ำตาลลดลง แต่ความสว่างจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากกาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C นาน 3 และ 5 นาที ไม่สามารถทำให้เอนไซม์ PPO สูญเสียกิจกรรมอย่างสมบูรณ์

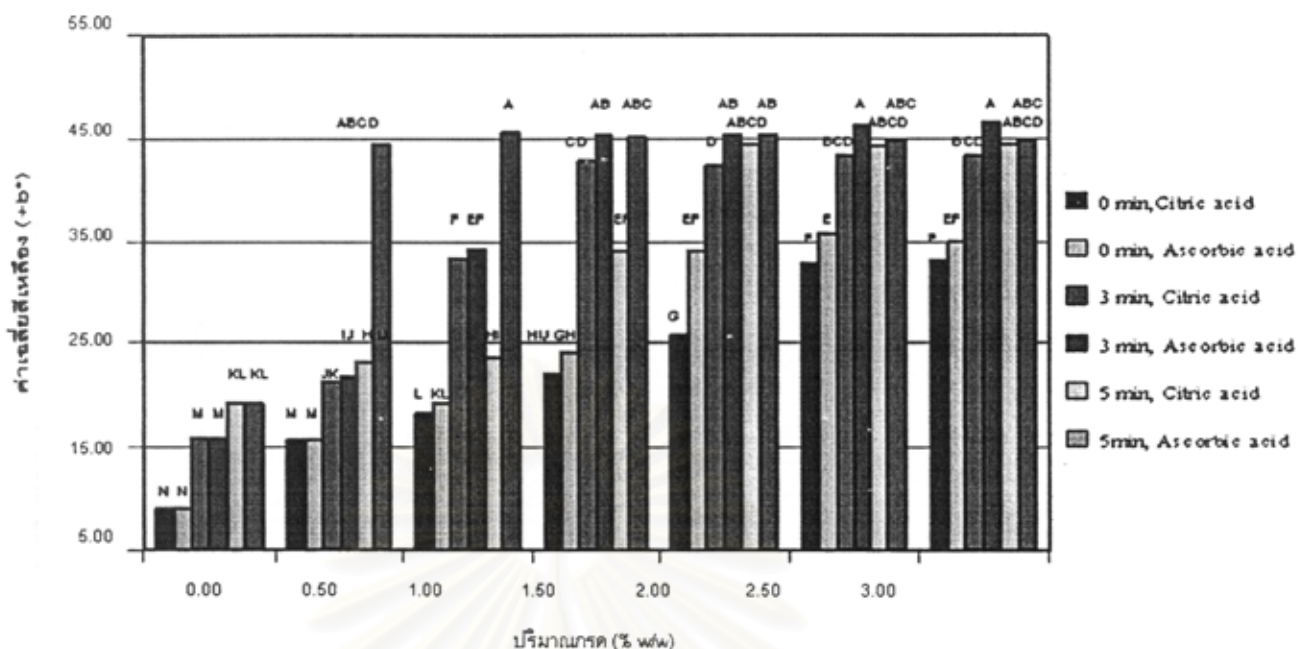
การเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิด และปริมาณต่างๆ ลงในเนื้อกล้วยหอมบด จะสามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลปริมาณมาก จะสามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าการเติมสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลปริมาณน้อย กรดแอสคอร์บิกจะมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดสีน้ำตาลสูงกว่ากรดซิตริก และการใช้กรดแอสคอร์บิก จะทำให้เนื้อกล้วยหอมบดที่ได้มีสีเหลืองมากกว่าการใช้กรดซิตริกเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล แต่ความสว่าง (L^*) และสีเหลือง ($+b^*$) ของเนื้อกล้วยหอมบดจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang และคณะ (2000) ได้ศึกษาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PPO จากกล้วย *Musa sapientum* L. พบว่า กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ดี

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่ามีความแปรผันร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ต่อค่าเฉลี่ยของความสว่าง (L^*) และมีความแปรผันร่วมระหว่างระยะเวลาการให้ความร้อนกับปริมาณสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ ต่อค่าเฉลี่ยของสีเหลือง ($+b^*$) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการให้ความร้อนนาน 5 นาที ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.50% ขึ้นไป จะได้เนื้อกล้วยหอมบดที่มีค่าเฉลี่ยของสีเหลือง ($+b^*$) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้แสดงโดยรูปที่ 8 และ 9

ดังนั้นภาวะในการเตรียมกล้วยหอมบดที่เหมาะสม เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ที่เลือกมาใช้ สำหรับขั้นตอนการเตรียมเนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทอง ให้พร้อมสำหรับเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปไซรัปกล้วยหอมในขั้นตอนต่อไป คือ การให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำเดือดจนจุดกึ่งกลางของผลกล้วยมีอุณหภูมิ 85°C นาน 5 นาที



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L^*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดยภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็น นาน 7 วัน แท่งกราฟที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยสีเหลือง (+b*) ของเนื้อกล้วยหอมบด ที่ผ่านการเตรียมโดยภาวะต่างๆ และเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิ $12 \pm 1^{\circ}\text{C}$) นาน 7 วัน แท่งกราฟที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกั้มีความหมายแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. สรุปผลการวิจัย

เมื่อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมีระยะการสุกมากขึ้น แอททิวิตีของการกำจัดอนุมูลอิสระ ปริมาณ ความชื้น และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อกล้วยหอมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดที่โดดเด่นได้ ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และแอททิวิตีของสารฟีนอลิกในเนื้อ กล้วยหอมมีค่าลดลง ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง เนื้อกล้วยหอมพันธุ์หอมทองมีสารให้ กลิ่นที่ระเหยได้ทั้งหมด 17 ชนิด ซึ่งแตกต่างกันตามระยะการสุก โดยเนื้อกล้วยหอมที่สุกระยะ 7 มีสารที่ ทำให้เกิดกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของกล้วยเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ได้แก่ 3-Methylbutyl ester, 3-Methyl-, 3-methylbutyl ester และ Phenylmethyl ester เมื่อให้ความร้อนจนผลกล้วยหอมมีอุณหภูมิ 85°C นาน 5 นาที ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.50 % โดยน้ำหนัก สามารถยับยั้งการเกิดสี น้ำตาลของเนื้อกล้วยหอมบดได้อย่างสมบูรณ์

5. รายการอ้างอิง

- ปราณี อานเป็รื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรุณี เพียรทวีรัตน์ และ ปราณี อานเป็รื่อง. 2536. ผลของเพคตินเอส เซลลูโลส และ อะมัยเลส ต่อการผลิตน้ำกล้วยหอม. อาหาร. 23 (3): 188-196.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Washington D.C.
- Chokeprasert, P., Charles, A. L., Sue, K. H., and Huang, T. C. 2007. Volatile components of the leaves, fruits and seeds of wampee [*Clausena lansium* (Lour.) Skeels]. Journal of Food Composition and Analysis. 20: 52–56.
- Macku, C., and Jennings, W. G. 1987. Journal of Agricultural and Chemistry. 35: 845-850.
- Maisuthisakul, M., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants Food Chemistry. 100: 1409–1418.
- Mayr, D., Märk, T., Lindinger, W., Brevard, H., and Yeretzian, C. 2003. Breath-by-breath analysis of banana aroma by proton transfer reaction mass spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry. 223-224: 743-756.
- Montogery, D. C. 2001. Design and analysis of experiments. 5th ed. New York: John Wiley&Sons.
- Nelson, N. 1994. Determination of glucose. Journal Biological and Chemistry. 153: 375-380.
- Prior, R. L., Cao, G., Matin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G., and Mainland, C. M. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of Vaccinium species. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46: 2686–2693.
- Tressl, R., and Jennings, W. G. 1972. Production of volatile compounds in the ripening banana. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 20 (2): 189-192.
- Yang, C. P., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N., and Hayashi, N. 2000. Purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientum*L.)pulp. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48 (7): 2732-2735.

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 3

ผลของการสกัดด้วยเอนไซม์ต่อสารหน้าที่เฉพาะในฝรั่งแดง *Psidium guajava* L.

EFFECTS OF ENZYMATIC EXTRACTION ON FUNCTIONAL COMPOUNDS

IN RED GUAVA *Psidium guajava* L.

โดย นางสาวสาววิ ถ้วยทอง และ รศ.ดร. ปราณิ อำนเป็รื่อง

ตอนที่ 1

ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ และการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของฝรั่งแดง

Physicochemical characteristics of raw material and control the browning of red guava

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการแปรรูปและสารหน้าที่เฉพาะของไซรัปฝรั่งแดง โดยใช้เอนไซม์ทางการค้ากลุ่มเพคตินเนส (Pectinex™ Ultra SP-L) ช่วยในการสกัด การเลือกระดับความสุกของฝรั่งแดงที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการแปรรูปไซรัปฝรั่งแดง โดยคัดเลือกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม แบ่งความสุกเป็น 2 ระดับ ใช้ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid ; TSS) ของเนื้อฝรั่งแดงเป็นตัวกำหนด ความสุกระดับที่ 1 คือ มี TSS ของเนื้ออยู่ในช่วง 10 -11 °บริกซ์ ความสุกระดับที่ 2 คือ มี TSS ของเนื้ออยู่ในช่วง 12 -13 °บริกซ์ โดยเนื้อฝรั่งแดงที่มีความสุกระดับที่ 2 ได้รับการยอมรับสูงสุด จึงเลือกใช้ในการแปรรูป นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีกายภาพจะเกิดเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสุกของฝรั่งแดง เมื่อฝรั่งแดงมีระดับความสุกสูงขึ้น ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณความชื้นสูงขึ้นด้วย แต่ค่าความสว่างและปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกมีค่าลดลง ส่วนการเลือกภาวะในการเตรียมเนื้อฝรั่งแดงบดที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้จะทำการลวกด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 5 นาที

1. บทนำ

ฝรั่งแดง มีชื่อสามัญว่า Red Guava ชื่อวิทยาศาสตร์ *Psidium guajava* L. จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae เป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะวิตามินซี โยอาหาร แคลเซียม และสารต้านอนุมูลอิสระ (เทียมใจ, 2542) ดังนั้น ฝรั่งแดงจึงเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์เป็นอย่างมาก สามารถแปรรูปเป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ (Functional food) คือ อาหารที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน ส่วนใหญ่เป็นการช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรค เช่น ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด มีผลต่อการป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคเบาหวาน ตลอดจนมีผลต่อการเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย (Benders, 1999)

ฝรั่งแดงสุกประกอบด้วยน้ำ น้ำตาล เซลลูโลส และที่สำคัญ คือ สารเพกติก (pectic substance) เมื่อนำเนื้อมาตีปั่นจึงทำให้มีความหนืดสูงและกรองแยกน้ำยาก ดังนั้นในการสกัดน้ำฝรั่งแดงให้ได้ผลผลิตสูง ควรลดความหนืดลงโดยการย่อยสลาย (depolymerization) สารคาร์โบไฮเดรตให้มีขนาดเล็กลง โดยเฉพาะสารเพกติก ซึ่งสามารถใช้เอนไซม์อาจเป็นชนิดเดี่ยวหรืออาจใช้มากกว่าหนึ่งชนิดช่วยย่อยสลายสารดังกล่าวได้ มีการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้มากมาย โดยมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น การสกัดน้ำผลไม้เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำผลไม้ เพิ่มประสิทธิภาพการกรอง ปรับปรุงความคงตัวสำหรับการทำให้เข้มข้น เพิ่มความใส และลดความขม เป็นต้น (Chopra, Kashyap, Tewari และ Vohra, 2001; Pong, Lee และ Wu, 1996) มีรายงานว่า การใช้เพคติเนสร่วมกับเซลลูเลสจะช่วยเสริมการย่อยสลายเซลล์พืชให้มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้เอนไซม์เพียงชนิดเดียว เอนไซม์เหล่านี้ใช้ได้กับผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล องุ่น ส้ม มะละกอ มะม่วง เป็นต้น (Pilnik และ Voragen, 1993)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เอนไซม์ในน้ำผลไม้ ดังนี้

Shalom และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของการสกัดน้ำฝรั่งด้วยเอนไซม์ทางการค้าและภาวะในการผลิตที่มีต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตของน้ำฝรั่ง พบว่าการใช้ Ultrazyme ร่วมกับ Celluclast (cellulolytic) จะช่วยเพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิตของน้ำฝรั่งได้ดีกว่าการใช้ pectolytic enzyme เพียงอย่างเดียว

การทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าวิธีใดเหมาะสมที่จะนำมาสกัดสารไลโคพีนออกจากมะเขือเทศ พบว่า อะซิโตน สามารถสกัดสารออกมาได้มากที่สุดรองจากคลอโรฟอร์มและเบนซิน ตามลำดับ แต่การใช้เซลลูเลสและเพกทิเนสในการสกัดจะให้ปริมาณไลโคพีนสูงที่สุด (Vera, 2003)

ปัจจัยสำคัญในการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของเอนไซม์ โดยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลไม้แต่ละชนิดซึ่งจะให้ผลที่แตกต่าง เช่น Hassan และคณะ (1994) ได้สกัดน้ำสับปะรดโดยใช้เซลลูเลสและเพกทิเนส ที่ภาวะความเข้มข้น 0.025% อุณหภูมิ 27-30 °C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งพบว่าได้ผลผลิตสูงถึง 81-86% ซึ่งมากกว่าตัวอย่างที่

ไม่ใช้เอนไซม์ คือ 72% พบว่าการใช้เอนไซม์สกัดน้ำสับประรดจะช่วยเพิ่มผลผลิตและลดความหนืดลงได้ ซึ่งการสกัดโดยใช้เอนไซม์นี้จะยังคงรักษากลิ่นรสเดิมของสับประรดไว้ได้

จากความสำคัญของอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะต่อสุขภาพของมนุษย์ ปัจจุบันการบริโภคของผู้รักสุขภาพได้ให้ความสำคัญกับแนวทางการใช้ประโยชน์มากขึ้น เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อเพิ่มสีและรสชาติ ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะแนวโน้มการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารในอนาคต นักพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเทศต่างสนใจอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะกันมากขึ้น ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษากระบวนการแปรรูปและสารหน้าที่เฉพาะของไซรัปฝรั่งแดงโดยใช้เอนไซม์เพคตินเนสที่มีชื่อทางการค้าว่า Pectinex™Ultra SP-L ช่วยในการสกัด โดยหาภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทางด้านกายภาพ ชีวภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส

2. วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

เลือกไซรัปฝรั่งแดง ที่ผ่านการบ่มแล้ว โดยแบ่งความสุกเป็น 2 ระดับ และใช้ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid ; TSS) ของเนื้อฝรั่งแดงเป็นตัวกำหนด กำหนดให้ความสุกระดับที่ 1 คือ มี TSS ของเนื้ออยู่ในช่วง 10-11 °บริกซ์ ความสุกระดับที่ 2 คือ มี TSS ของเนื้ออยู่ในช่วง 12-13 °บริกซ์ (Zainal และคณะ, 1999)

2. เลือกระดับความสุกของฝรั่งแดงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบ

โดยคัดเลือกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม โดยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ แบบ Quantitative Descriptive Analysis Test (QDA) ใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยกำหนดว่าวัตถุดิบที่ได้คะแนนสูงสุด คือฝรั่งแดงที่ได้คัดเลือก ทำ 3 ซ้ำ

3. วิเคราะห์สมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของเนื้อฝรั่งแดง

นำเนื้อฝรั่งแดงระดับความสุกที่ 1 และ 2 มาวัดการเปลี่ยนแปลงสี โดยใช้เครื่อง Minolta รุ่น CR 300 ด้วยระบบ CIE LAB ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid:TSS) โดยใช้ Hand refractometer (Atago รุ่น N-1α 0-32°Brix) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยใช้ pH meter (Schott รุ่น CG 825) ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (%Total acidity) (A.O.A.C., 1995) ปริมาณความชื้น และปริมาณ Reducing sugar โดยวิธีของ Nelson (1994) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD

4. ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อฝรั่งแดง

นำฝรั่งแดงที่มีระดับความสุกที่ได้จากข้อ 2 มาศึกษาภาวะการควบคุมสีน้ำตาลของเนื้อฝรั่งแดง โดยเติมน้ำด้วยอัตราส่วนเนื้อฝรั่งแดง ต่อ น้ำ เท่ากับ 4 ต่อ 1 ตีปั่นเนื้อฝรั่งแดงให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผสมอาหาร นำไปลวกด้วยความร้อนจากไอน้ำ แปรระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ในช่วง 80 - 90 °C ที่เวลา 3 ระดับ ในช่วง 0-5 นาที วัดค่า pH โดยใช้ pH meter (Schott รุ่น CG 825) และวัดการเปลี่ยนแปลงสี โดยใช้เครื่อง Minolta รุ่น CR 300 ระบบ CIE LAB ควบคู่กับการวัดกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ระดับความสุกของฝรั่งแดงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบ

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาการสุกของฝรั่งแดงมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส ดังตารางที่ 12 ตารางที่ 12 คะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของเนื้อฝรั่งแดง

ระดับความสุก	ช่วง TSS (°Brix)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
		สี	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
1	10 - 11	6.11 \pm 1.53	7.09 \pm 1.44	6.41 \pm 2.45	5.97 \pm 1.76	6.24 \pm 1.48
2	12 - 13	8.50 \pm 0.78	8.50 \pm 1.27	8.01 \pm 1.41	7.19 \pm 1.62	8.39 \pm 0.81

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าระดับความสุกของฝรั่งแดงมีอิทธิพลต่อสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมของฝรั่งแดง ($p \leq 0.05$) โดยฝรั่งแดงที่มีความสุกระดับที่ 1 ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10 - 11 บริกซ์ และความสุกระดับที่ 2 ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 12 - 13 บริกซ์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเนื่องจากฝรั่งแดงความสุกระดับที่ 2 ได้รับคะแนนในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมสูงกว่าฝรั่งแดงที่มีความสุกระดับที่ 1 เนื่องจากมีความผิดปกติทางด้านสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสน้อยกว่า ซึ่งเป็นลักษณะทางคุณภาพที่สำคัญของไซรัปฝรั่งแดง ดังนั้นจึงเลือกฝรั่งแดงที่มีความสุกระดับที่ 2 เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไซรัปฝรั่งแดงในขั้นตอนต่อไป

2. วิเคราะห์สมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของเนื้อฝรั่งแดง

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของเนื้อฝรั่งแดงระยะการสุก 1 และ 2

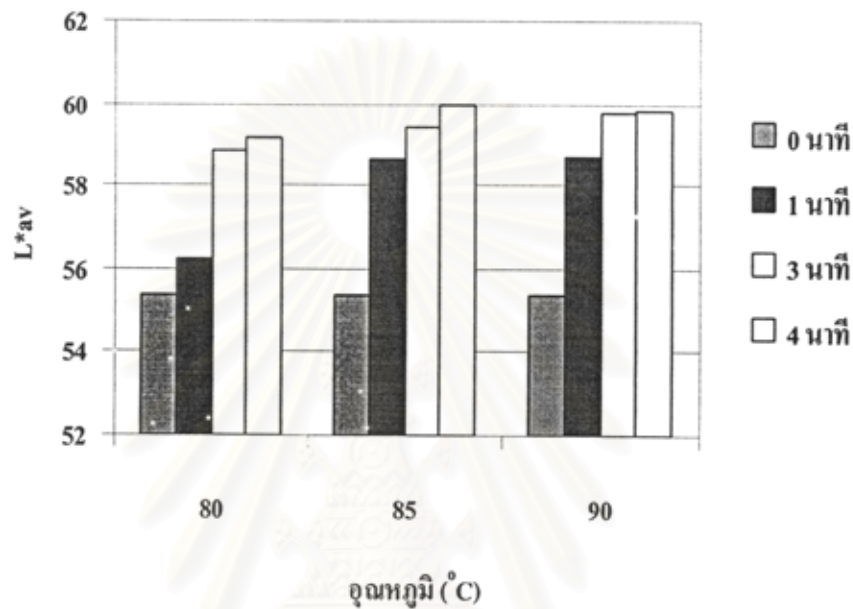
องค์ประกอบทางเคมีกายภาพ	ระดับการสุกของฝรั่งแดง	
	1	2
ค่าสี		
L	52.66±0.08	49.71±0.09
a	5.42±0.19	8.95±0.07
b	5.21±0.09	6.77±0.12
pH	3.91±0.01	4.05±0.02
TA (g/100 ml)	0.77±0.01	0.59±0.01
TSS (°Brix)	10.33±0.58	12.33±0.58
Reducing sugar (mg/ml)	45.74±0.08	47.58±0.07
Moisture content (%)	84.14±0.20	86.27±0.29

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

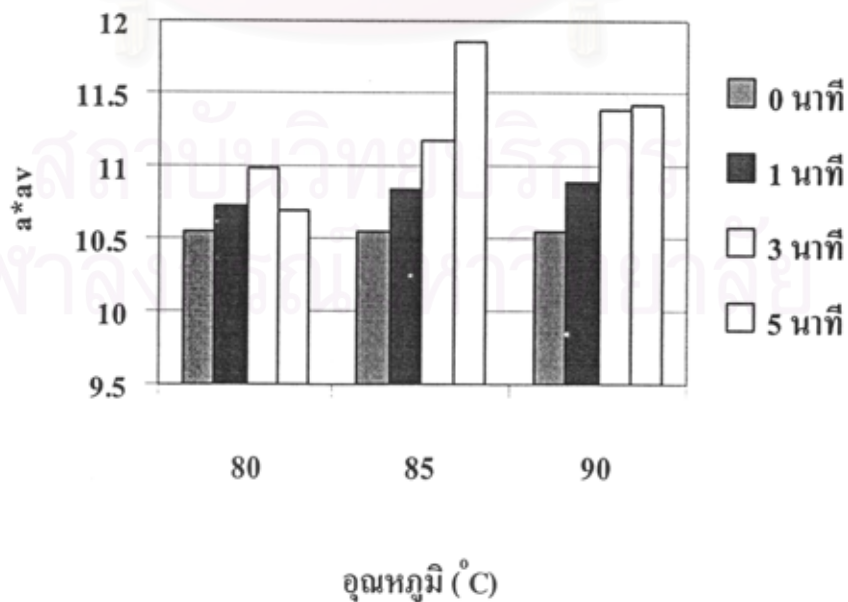
จากตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่าระยะการสุกของผลฝรั่งแดงมีผลต่อสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของเนื้อฝรั่งแดง โดยพบว่าเมื่อระยะการสุกของฝรั่งแดงสูงขึ้น ค่าต่างๆที่วิเคราะห์ได้ เช่น ค่าสีแดง สีเหลือง ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณความชื้นสูงขึ้นด้วย แต่ค่าความสว่างและปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกมีค่าลดลง โดยค่า สีแดงและสีเหลืองที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากโดยทั่วไปปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดน้อยลงเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะที่สุกเต็มที่ ในขณะที่สารสีต่างๆ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่วนเนื้อของผลไม้มันว่าส่วนใหญ่จะไม่มีคลอโรฟิลล์ แต่มักมีการสร้างสารสีขึ้นในระยะเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกัน โดยสีแดงเกิดจากการสร้างไลโคพินซึ่งฝรั่งแดงสุกจะมีแคโรทีนและไลโคพินอยู่มาก (Arthey และคณะ,2001) สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกจะมีค่าลดลง เนื่องจากผลไม้ส่วนใหญ่เมื่อยังเป็นผลอ่อนมักมีรสเปรี้ยว เนื่องจากการสะสมของกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่พบมาก ได้แก่ citric acid และ malic acid ในแควคิวโอล เมื่อผลพัฒนาเข้าสู่ความบิบูรณ์ปริมาณกรดจะลดลงโดยจะสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดต่าง ของเนื้อฝรั่งแดงที่ได้ (Lanzarini และคณะ, 1989) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อฝรั่งแดงมีค่าสูงขึ้นมีสาเหตุมาจากฝรั่งแดงเป็นผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งสะสมอาหารในรูปแป้งแล้วเปลี่ยนเป็นน้ำตาลในภายหลัง โดย phosphurylase มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงแป้งไปเป็นน้ำตาล โดยทำให้โมเลกุลของแป้งแยกตัวออกตรง α -1,4 glucosidic bonds และปริมาณน้ำในรูปของความชื้นของฝรั่งแดงจะเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการสุก โดยปริมาณน้ำในแควคิวโอลก็เพิ่มขึ้นตามอายุของฝรั่งแดง (Kilara ,1996)

3. ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อฝรั่งแดง

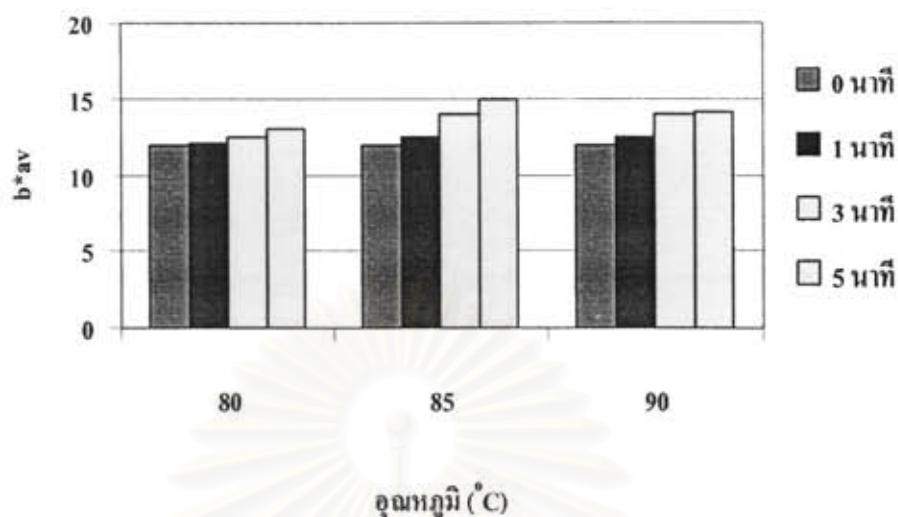
จากการทดลองพบว่า เมื่อลวกเนื้อฝรั่งแดงบดด้วยไอน้ำเป็นเวลานานขึ้น ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลจะลดลง ซึ่งสังเกตได้จากค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นในรูปที่ 10, 11 และ 12 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ค่าความสว่าง (L^* value) ของเนื้อฝรั่งแดงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 11 ค่าสีแดง (a^* value) ของเนื้อฝรั่งแดงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 12 ค่าสีเหลือง (b value) ของเนื้อฝรั่งแดงที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ

การลวกมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนการแปรรูปหรือเพื่อป้องกันการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผัก ผลไม้ ซึ่งโพลีฟีนอลออกซิเดสจะเสียดสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 80 - 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากไลโคพีนมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงและเป็นสารที่ไม่มีขั้วจึงดูดซึมได้ไม่ดี ดังนั้นความร้อนจะทำให้ไลโคพีนเปลี่ยนรูปจาก trans-lycopene เป็น cis-lycopene ทำให้ดูดซึมได้ดีขึ้น และความร้อนจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับสารประกอบแคโรทีนอยด์ได้ทำเนื้อฝรั่งแดงบดที่ได้มีค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Sapers, 1993) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อทดสอบความผันแปรระหว่างระยะเวลาที่ให้ความร้อนกับอุณหภูมิ พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัย มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อฝรั่งแดงบด โดยมีผลต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดงและสีเหลือง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการทดลองพบว่าการลวกด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 5 นาที และ 90 °C เป็นเวลา 5 นาที สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อฝรั่งแดงบดได้ดีไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกภาวะที่ในการเตรียมเนื้อฝรั่งแดงบดโดยการลวกด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 5 นาที

4. สรุปผลการทดลอง

การแปรรูปไซรัปฝรั่งแดง ควรใช้ฝรั่งแดงระดับความสุกที่ 2 เป็นวัตถุดิบ เนื่องจากมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในช่วง 12-13 บริกซ์ ได้รับคะแนนการทดสอบสูงที่สุดในทุกๆด้าน ทั้งนี้เนื่องจากฝรั่งแดงมีความสุกเต็มที่ การพัฒนาของกลิ่นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ทำให้มีกลิ่นหอมของฝรั่งแดง มีกลิ่นผิดปกติต่ำ รสชาติหอมหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีกายภาพจะเกิดเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสุกของฝรั่งแดง เมื่อฝรั่งแดงมีระดับความสุกสูงขึ้น ค่า a' b' ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณความชื้นสูงขึ้นด้วย แต่ค่า L' และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกมีค่าลดลง ส่วนการเลือกภาวะในการเตรียมเนื้อฝรั่งแดงบดที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้จะทำการลวกด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 5 นาที

ฝรั่งแดงระดับความสุกที่ 2 ได้รับคัดเลือกเป็นวัตถุดิบมีค่าสีในระบบ CIE LAB คือ $L' = 49.71$, $+a' = 8.95$ และ $+b' = 6.77$ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 12.4°Brix ค่าความเป็นกรดต่าง 4.05 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก 0.59% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 47.58 mg/g และ Moisture content 86.27%

5. เอกสารอ้างอิง

- เทียมใจ คมกฤส. 2542. กายวิภาคของพฤษพืช. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Arthey, D., and Ashurst, P.R.,2001. Fruit processing. An aspen publication, New York.
- Benders, D.A. 1999. Functional foods. Benders' Dictionary of Nutritional and Food Technology. New York: CRC Press.
- 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.
- Brennan, J.R., 1976. Food engineering operations. Applied sciences publishers, New York: Marcel Dekker.
- 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.
- Delia, B. R., and Padula, M. 1986. Characterisation of the carotenoids and assessment of the vitamin a value of Brazilian guavas (*Psidium guajava* L.). Food Chemistry. 20(1):11-19

- 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.
- Kilara, A., 1996. Enzymes and their uses in the processed apple industry: A Review. Process Biochemistry, 23, 35-41.
- Lanzarini, G., and Pifferi, P.G., 1989. Biotechnology application in beverage production. Elsevier applied sciences , London & Newyork.
- Pilnik, W., and Voragen, A.G.J. 1993. Pectic enzymes in fruit juice and vegetable juice manufacture. In Reeds, G. (ed.), Food and Science Technology : Enzymes in Food Processing, 363-399. New York : Academic Press.
- Pong, C.C., Lee, Y.H., and Wu, C.M. 1996. Effects of pectinase treatment on guava juice quality and volatile constituents. Food Science, 23(1):77-87.
- Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means. Food technology. 47(2): 75-84.
- Whitaker, J. R. 1996. Enzyme in Food Chemistry. O. R. Fennema Marcel (ed.). 431-530. New York:Dekker, Inc.
- Zainal, B.S., Abdul Rahman, R., Ariff, A.B., Saari, B.N., Asbi, B.A. 1999. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations . Journal of Food Engineering, 43(1), 55-59.

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 4
การผลิตด้วยเอนไซม์และการหาลักษณะเฉพาะของไซรัปมะตูม
Aegle marmelos (L.) Correa
 Enzymatic Production and Characterization of Bael Fruit *Aegle marmelos* (L.)
 Correa Syrup
 โดย นางสาวสุวิมล เจริญสิทธิ์ และ รศ.ดร. ปราณี อำนเป็รื่อง

ตอนที่ 1

ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ และการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของไซรัปมะตูม Physicochemical characteristics of raw material and control the browning of Bael fruit

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกระยะการสุก และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของมะตูมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ รวมทั้งศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อมะตูม จากการ คัดเลือกระยะการสุกของมะตูมโดยเปรียบเทียบคุณภาพทาง ประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส พบว่า มะตูมแก่จัดบ่มที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 10 วัน ลักษณะเปลือกมีสีส้มเหลือง เริ่มมีสีน้ำตาลเล็กน้อย จะให้กลิ่น มะตูมชัดเจน และมีรสหอม หวานตามธรรมชาติมากกว่าระยะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 19.84% แบ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ 11.22% และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 8.62% โดยน้ำหนักแห้ง มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน เท่ากับ $6.21 \mu\text{g dry mass} / \mu\text{g DPPH}$ หรือ $102.63 \mu\text{M Trolox equivalent} / \text{g dry mass}$ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด $10.64 \mu\text{g carotenoid} / \text{g fresh mass}$ และเมื่อตรวจหาชนิดสารให้กลิ่นระเหยโดยใช้เทคนิค SPME/GC/MS พบว่ามีสารให้กลิ่นระเหยทั้งหมด 30 ชนิด โดยมีสารให้กลิ่นเอกลักษณ์เฉพาะของมะตูมคือ Limonene และจากการทดลองหาภาวะควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อมะตูมโดยใช้ กรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก ร่วมกับการให้ความร้อนจากไอน้ำ จนจุด กึ่งกลางเนื้อมะตูมมีอุณหภูมิ 85°C แปรปริมาณกรดที่ใช้ในช่วงความเข้มข้น 0-0.5% (w/w) แปรระยะเวลาการให้ความร้อนในช่วง 0-5 นาที พบว่า เนื้อมะตูมที่เติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.3% (w/w) ร่วมกับการให้ความร้อนนาน 3 นาที สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้

1. บทนำ

มะตูมเป็นพืชพื้นเมืองของไทยที่มีสรรพคุณใช้เป็นสมุนไพรประกอบด้วยโกลนเภสัชสาร (nutraceutical substances) ที่สำคัญหลายชนิด ลักษณะเด่นของมะตูมสุกคือ มีเนื้อสีส้มปนเหลือง มีกลิ่นรสหอมหวาน และมีเมือกเป็นยางเหนียว ประกอบด้วยสารที่มีหน้าที่เฉพาะที่สำคัญหลายชนิด เช่น แคโรทีนอยด์ เพคติน มิวซิเลจ แทนนิน และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ (Morton, 1987) การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ รวมทั้งลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส จะเกิดขึ้นตามระยะการสุกของผลมะตูม (Roy และ Khurdiya, 1995) เนื่องจากอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี นอกจากนี้ปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้คือ การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อผลไม้ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) กับสารประกอบ Phenols ที่พบในผลไม้ ในภาวะที่มีออกซิเจน ได้เป็นสารเชิงซ้อนสีน้ำตาล (Fennema, 1996) การเกิดสีน้ำตาลในเนื้อ ผลไม้สามารถควบคุมได้โดยใช้ความร้อนและสารเคมีเพื่อ ควบคุมการทำงานของเอนไซม์

2. วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

มะตูมแก่จัดจากจังหวัดพิจิตรที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน จนได้ผลมะตูม 3 ระยะการสุก โดยใช้สีเปลือกเป็นเกณฑ์ กำหนดให้มะตูมสุกระยะที่ 1 ได้แก่ มะตูมที่มีเปลือกสีเหลืองมากกว่าสีเขียว ระยะที่ 2 ได้แก่ มะตูมที่มีเปลือกสีส้มเหลือง เริ่มมี สีน้ำตาลเล็กน้อย และระยะที่ 3 ได้แก่ มะตูมที่มีเปลือกสีส้มเหลืองและมีสีน้ำตาลมาก

2. คัดเลือกระยะการสุกของมะตูมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

นำเนื้อมะตูมทั้ง 3 ระยะการสุก มาทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน โดยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) ด้วยการให้คะแนนด้านสี กลิ่น รส ของมะตูม ทำ 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ RCBD และวัดการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะตูมทั้ง 3 ระยะการสุก ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CR 400) โดยใช้ระบบ $L^* a^* b^*$ แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid; TSS) โดยใช้ Hand refractometer (Atago 32-62°Brix) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยใช้ pH meter (Cyberscan 1000) และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (A.O.A.C, 1995) ทำ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD

3. ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของมะตูมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

นำมะตูมที่คัดเลือกระยะเวลาการสุกได้จากข้อ 2 มาศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ดังนี้

- 3.1 ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1995)
- 3.2 ปริมาณใยอาหาร (soluble and insoluble dietary fiber) (A.O.A.C., 1995)
- 3.3 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (antioxidant activity) โดยวิธี DPPH[•] scavenging และ FRAP assay (Brand-Williams และคณะ, 1995; Benzie และ Strain, 1996; Maisuthisakul และคณะ, 2007; Thaipong และคณะ, 2006)
- 3.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Gross, 1991; Talcott, 1999; Tavarini และคณะ, 2008)
- 3.5 สารให้กลิ่นระเหย โดยวิธี SPME/GC/MS
- 3.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Nelson, 1944)

4. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อมะตูม

นำมะตูมที่มีระยะเวลาการสุกที่เลือกได้มาหาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสี

น้ำตาล ใช้ กรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก ร่วมกับความร้อนจากไอน้ำเดือด โดยตีปั่นเนื้อมะตูมในที่ เย็น (อุณหภูมิไม่เกิน 8°C) ด้วยน้ำในอัตราส่วนเนื้อมะตูมต่อน้ำ เท่ากับ 5:1 ร่วมกับเติมกรดอินทรีย์ ในช่วงความเข้มข้น 4 ระดับ ตั้งแต่ 0-0.5% (w/w) จากนั้นนำเนื้อมะตูมตีปั่นที่ได้มาให้ความร้อนด้วยไอน้ำเดือด แปรระยะ เวลาการให้ความร้อนจนถึงกึ่งกลางของเนื้อมะตูมตีปั่นมีอุณหภูมิ 85°C นาน 4 ระดับ ในช่วง 0-5 นาที และทำให้เย็นลงทันที วัดค่าสี L* a* b* และค่า pH ที่ 0, 3, 5 วัน ทำ 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD และทดสอบแยกทิวีตีของเฮนไรม์เพอออกซิเดส (Pearson, 1970)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการคัดเลือกระยะเวลาการสุกและสมบัติทางเคมีกายภาพของมะตูมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของมะตูมสุกที่ระยะต่างๆ แสดงผลในตารางที่ 14 พบว่า สีเปลือกและเนื้อมะตูมมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อมะตูม (Roy และ Khurdiya, 1995) เห็นได้จากเปลือกและเนื้อมะตูมจะมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง แต่มีค่าสีแดง ($+a^*$) เพิ่มขึ้น เมื่อมะตูมมีระยะเวลาการสุกมากขึ้น และเปลือกมะตูมสุกระยะที่ 2 จะมีค่าสีเหลือง ($+b^*$) มากที่สุด ส่วนเนื้อมะตูมจะมีค่าสีเหลือง ($+b^*$) ลดลง เมื่อมะตูมมีระยะเวลาการสุกมากขึ้น เมื่อพิจารณาความอิ่มตัวของสีจากค่า chroma (C^*) และค่าองศา Hue (h) พบว่า เปลือกมะตูมสุกระยะที่ 2 จะมีค่า C^* และ h มากที่สุด ส่วนเนื้อมะตูมจะมีค่า C^* และ h ลดลง เมื่อมะตูมมีระยะเวลาการสุกมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะตูมในแต่ละระยะเวลาการสุก เนื่องมาจากระหว่างการสุกของผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีส้มเหลืองแก่พืช โดยผลไม้สุกจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น ขณะที่คลอโรฟิลล์ลดน้อยลง (Demian, 1990; Shewfelt และ Prussia, 1993) เมื่อพิจารณาค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกพบว่า เมื่อมะตูมมีระยะเวลาการสุกมากขึ้นจะมีค่า pH เพิ่มขึ้น และมีปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เมื่อผลไม้สุกมากขึ้นหรือมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณกรดลดลงและมีค่า pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดในผลไม้ เช่น กรดซิตริก จะถูกใช้ไปเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการหายใจ (Kreb's cycle) (Thompson, 1996) จากการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อมะตูมสุกที่ระยะต่างๆพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อมะตูมมีระยะเวลาการสุกมากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าไม่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 14 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของมะตูมสุกที่ระยะต่างๆ

Physicochemical characteristics	Ripening stages		
	1	2	3
External color			
L*	60.98 ^a ±1.02	62.51 ^a ±1.59	48.90 ^b ±1.65
a*	-3.06 ^c ±2.42	4.96 ^b ±2.05	10.80 ^a ±0.62
b*	37.57 ^b ±3.06	44.20 ^a ±0.98	27.93 ^c ±0.79
C*	37.74 ^b ±3.16	44.51 ^a ±0.72	29.95 ^c ±0.77
h	-85.43 ^c ±3.41	83.56 ^a ±2.79	68.86 ^b ±1.24
Internal color			
L*	44.44 ^a ±0.70	40.11 ^b ±0.27	31.77 ^c ±0.31
a*	6.98 ^b ±0.74	7.82 ^b ±0.20	11.37 ^a ±0.73
b*	36.72 ^a ±0.67	35.84 ^a ±0.24	33.80 ^b ±0.66
C*	37.39 ^a ±0.52	36.68 ^a ±0.23	35.66 ^b ±0.68
h	79.23 ^a ±1.30	77.70 ^a ±0.33	71.40 ^b ±1.14
pH	5.27 ^b ±0.05	5.37 ^a ±0.03	5.43 ^a ±0.03
Total acidity (%)	1.07 ^a ±0.05	0.94 ^b ±0.04	0.82 ^c ±0.00
Total soluble solids (°Brix)	38.83 ^{ns} ±1.26	39.83 ^{ns} ±0.76	40.17 ^{ns} ±1.04

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าตัวเลขในแนวอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส ของเนื้อมะตูม 3 ระยะการสุก เพื่อคัดเลือกระยะการสุกของมะตูมที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไซรัปมะตูม โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่น รส ด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อมะตูมสุกที่ระยะต่างๆ

Sensory attributes	Ripening stages		
	1	2	3
Internal color	3.05 ^b ±0.26	4.18 ^a ±0.51	4.35 ^a ±0.47
Smell	2.88 ^c ±0.47	4.15 ^a ±0.26	3.77 ^b ±0.35
Taste	2.77 ^c ±0.54	4.28 ^a ±0.28	3.56 ^b ±0.32

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าตัวเลขในแนวอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อมะตูมสุกที่ระยะต่างๆ แสดงในตารางที่ 2 พบว่า มะตูมสุกระยะที่ 2 มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่น รส สูงกว่ามะตูมสุกระยะที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเนื้อมะตูมสุกระยะที่ 2 จะมีสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นรสหอมหวานตามธรรมชาติของมะตูมชัดเจน ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม และไม่มีรสฝาด ดังนั้นจึงเลือกใช้มะตูมสุกระยะที่ 2 เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไซรัปมะตูมในขั้นตอนต่อไป มะตูมสุกที่เลือกใช้นี้มีลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของมะตูมที่เลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไซรัปมะตูม

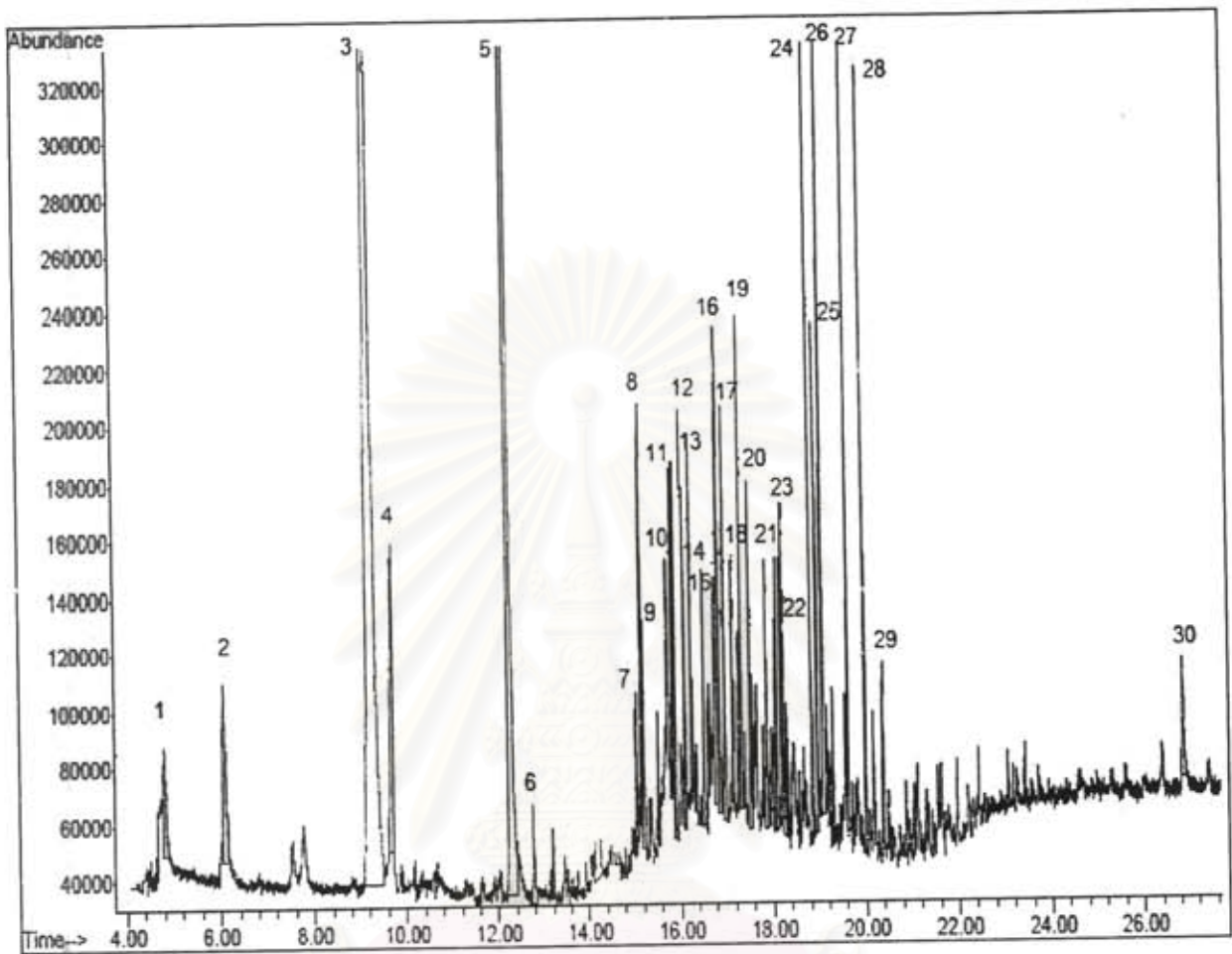
Physicochemical characteristics	Ripening stages 2
Moisture (%)	67.74±0.25
Dietary fiber (% dry basis)	19.84±0.01
Soluble dietary fiber	11.22±0.06
Insoluble dietary fiber	8.62±0.04
Reducing sugar (mg of glucose/g FM ¹)	39.50±0.89
Antioxidant activities	
DPPH assay (EC ₅₀ , µg DM ¹ / µg DPPH)	6.21±0.34
FRAP assay (µM TE ² /g DM)	102.63±3.01
Total carotenoid (µg carotenoid/ g FM)	10.64±0.17

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

¹ FM = fresh mass, DM = dry mass; ² TE = Trolox equivalent

เมื่อพิจารณาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในเนื้อมะตูมพบว่ามีความ 19.84% แบ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ 11.22% และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 8.62% โดยน้ำหนักแห้ง ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่ามะตูมเป็นแหล่งของ ใยอาหาร ส่วนฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของมะตูมโดยวิธี DPPH แสดงในรูปของความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้กำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ไปได้ 50% ภายในเวลาที่กำหนด (EC_{50}) ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงเมื่อมีค่า EC_{50} ต่ำ จากการทดลองพบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของมะตูมมีค่าค่อนข้างสูงคือ 6.21 $\mu\text{g DM}/\mu\text{g DPPH}$ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผัก ผลไม้ และพืชสมุนไพร (0.05-7.49 $\mu\text{gDM}/\mu\text{g DPPH}$) (Maisuthisakul และคณะ, 2007) และเมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของมะตูมด้วยวิธี FRAP พบว่า มีค่าเท่ากับ 102.63 $\mu\text{M TE/g DM}$ หรือ $33.11 \pm 0.97 \mu\text{M TE/g FM}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝรั่งพันธุ์ต่างๆ (15.50-33.30 $\mu\text{M TE/g FM}$) ที่ระบุว่าเป็นผลไม้ที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง (Thaipong และคณะ, 2006) โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในมะตูม ได้แก่ แคโรทีนอยด์ วิตามินซี และแทนนิน เป็นต้น (Morton, 1987; Roy และ Khurdiya, 1995) ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่พบในมะตูมที่เลือกใช้เป็นวัตถุดิบนี้มีค่าเท่ากับ 10.64 $\mu\text{g carotenoid/g FM}$ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผักและผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น แดงโม ฝรั่ง มะละกอ มะม่วง มันฝรั่ง พักทอง และมะกอก (1.12-12.23 $\mu\text{g carotenoid/g FM}$) (Davis และคณะ, 2007; Kotiková และคณะ, 2007; Inocent และคณะ, 2007) ทั้งนี้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับพันธุ์และแหล่งที่ปลูกของผักและผลไม้แต่ละชนิดด้วย

จากการวิเคราะห์หาชนิดสารระเหยให้กลิ่นในมะตูมด้วยเทคนิค SPME/GC/MS พบว่า มะตูมมีสารระเหยให้กลิ่นทั้งหมด 30 ชนิด แสดงในรูปที่ 13 และตารางที่ 17 โดยพบสารที่ให้กลิ่นรสของผลไม้หลายชนิด ผลที่ได้สอดคล้องกับ MacLeod และ Pieris (1981) ที่รายงานไว้ว่า สารระเหยของมะตูมส่วนใหญ่เป็นสารประกอบในกลุ่ม alcohols, esters, monoterpenes และ sesquiterpenes โดยมีองค์ประกอบหลักคือ Furanoid cis-linalool oxide และเมื่อพิจารณาค่า %area ของ chromatogram ที่ได้พบว่า Limonene มีค่า %area สูงที่สุด จึงคาดว่า Limonene น่าจะเป็นสารให้กลิ่นระเหยหลักในมะตูมที่เลือกใช้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tokitomo และคณะ (1982) ที่รายงานไว้ว่า สารให้กลิ่นรสหลักและสารให้กลิ่นรสเอกลักษณ์ของมะตูม ได้แก่ Limonene, Δ^3 -Carene, *p*-Cymene, Linalool oxide, Linalool, Benzyl acetate, Benzyl alcohol, 2-Phenylethanol และ β -Ionone



รูปที่ 13 Chromatogram ของสารให้กลิ่นระเหยของมะตูม วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME/GC/MS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 สารให้กลิ่นระเหยของมะตูม วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME/GC/MS

Peak No.	Retention time (min)	Compound name	% Area
1	4.81	Hexanal	0.39
2	6.07	3-Methylbutyl acetate	0.88
3	9.23	Limonene	13.46
4	9.70	Sabinene	1.30
5	12.26	Benzene	11.27
6	12.76	2-Butanone	0.29
7	15.04	E-2-Dodecenal	0.25
8	15.15	Methyl	0.61
9	15.21	cis-Linalool oxide	0.37
10	15.73	α -Cubebene	0.73
11	15.82	2,4-Heptadienal	0.45
12	16.10	3,5-Octadiene-2-one	0.60
13	16.25	β -Cubebene	0.49
14	16.51	1-Methyladamantane	0.37
15	16.76	Hexadecane	0.71
16	16.84	trans-Caryophyllene	0.78
17	16.97	Citronella	0.59
18	17.14	trans-p-Mentha-2,8-dienol	0.30
19	17.32	Pulegone	0.71
20	17.51	α -Caryophyllene	0.45
21	17.87	D-Verbenone	0.52
22	18.04	2-Cyclohexen-1-ol	0.34
23	18.08	2-Cyclohexen-1-one	0.41
24	18.83	β -Ionone	1.64
25	18.95	5,9-Undecadien-2-one	0.90
26	19.08	Pentan-1,3-dioldiisobutyrate	1.96
27	19.61	3-Buten-2-one	1.23
28	19.98	Caryophyllene oxide	1.07
29	20.37	Humulene oxide	0.33
30	26.85	Hexadecanoic acid	0.38

2. ภาวะที่ใช้ควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมะตูม

จากการทดลองเติมกรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับการให้ความร้อนจากไอน้ำเดือดที่เวลาต่างๆพบว่า ภาวะการเตรียมเนื้อมะตูมมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* และ b^* ของเนื้อมะตูม โดยเมื่อเนื้อมะตูมบดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ค่าความสว่าง (L^*) และสีเหลือง ($+b^*$) ที่วัดได้จะมีค่าลดลง ส่วนค่าสีแดง ($+a^*$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรูปที่ 14-16

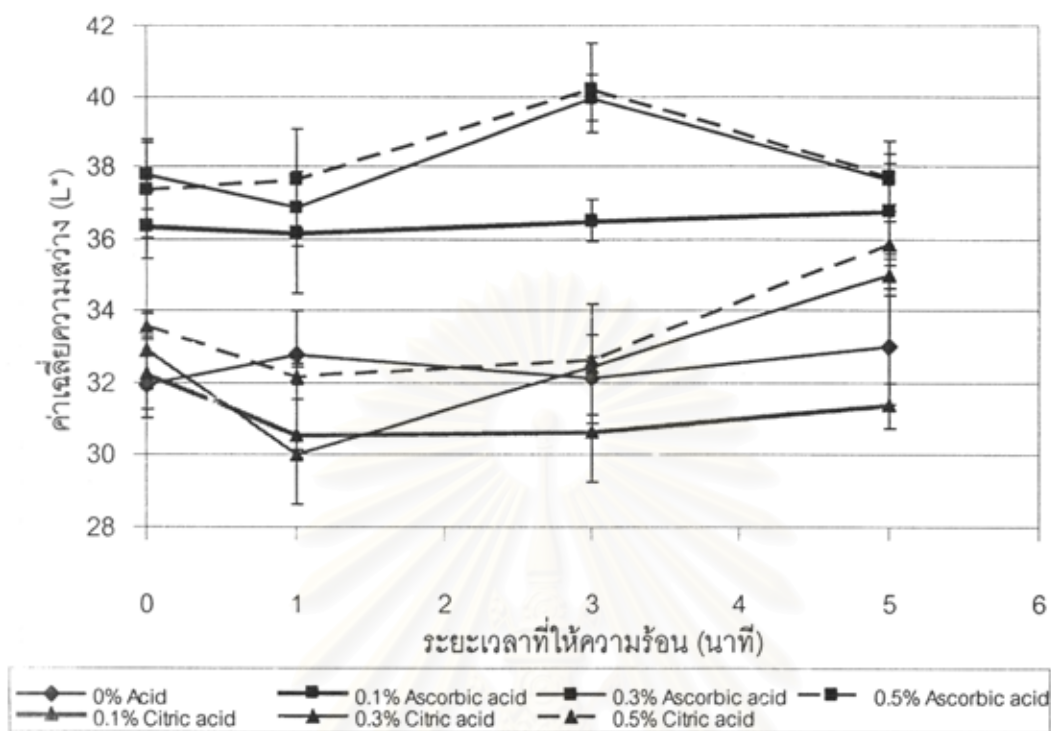
เมื่อพิจารณาผลของชนิดกรดอินทรีย์ที่ใช้ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลพบว่า ชนิดกรดอินทรีย์มีผล ต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อมะตูม การเติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.1-0.5% (w/w) มีผลช่วยควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมะตูมได้ โดยมีค่าความสว่าง (L^*) และสีเหลือง ($+b^*$) เพิ่มขึ้น และมีค่าสีแดง ($+a^*$) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะตูมบดที่ไม่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ในขณะที่การเติมกรดซิตริกที่ความเข้มข้นเดียวกันจะไม่สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากหน้าที่ในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของกรด 2 ชนิดนี้แตกต่างกัน กรดแอสคอร์บิกจะทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ โดยจะรีดิวซ์ o-quinone ให้กลับมาอยู่ในรูปของ o-diphenol ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ส่วนกรณีกรดซิตริกจะทำหน้าที่ เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม acidulant โดยทำให้ค่า pH ลดลง เมื่อ pH ลดลงต่ำกว่า ค่า optimum pH ของเอนไซม์ PPO (pH 5-7) จะช่วยลดแอกทิวิตีของเอนไซม์ได้ นอกจากนี้กรดซิตริกยังเป็นสารคีเลทจับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ PPO เมื่อทองแดงถูกดึงออกไปจะทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากทองแดงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เอนไซม์ทำงานได้เป็นปกติ (ปราณี, 2547; Guerrero-Beltrán และคณะ) จากการทดลองนี้กรดซิตริกไม่สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ อาจเนื่องมาจากกรดซิตริกที่ใช้มีปริมาณน้อยเกินไปที่จะทำให้ค่า pH ในเนื้อมะตูมลดต่ำลงจน สามารถควบคุมแอกทิวิตีของเอนไซม์ได้ แต่ การเติมกรดปริมาณมากเกินไปจะส่งผล ให้เนื้อมะตูมมีรสเปรี้ยวและมีค่า pH ที่ต่ำเกินไป ซึ่งอาจส่งผลต่อการ ทำงานของเอนไซม์เพกทิเนส ในขั้นตอน ต่อไปได้

เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลพบว่า การให้ความร้อนด้วยไอน้ำเดือดจนจุดกึ่งกลางของเนื้อมะตูมมีอุณหภูมิ 85°C นาน 1, 3 และ 5 นาที โดยไม่มีการเติมสารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เนื้อมะตูมบดที่ได้จะมีค่าสีแดง ($+a^*$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) ไม่แตกต่างกับเนื้อมะตูมบดที่ไม่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการ ให้ความร้อนกับเนื้อมะตูม จะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ ในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลของเนื้อมะตูม Vámos-Vigyázó (1981) รายงานว่าเอนไซม์ PPO จะถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ $80-85^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไป แต่จากการทดลองนี้การให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดแอกทิวิตีของเอนไซม์ PPO ในเนื้อมะตูมได้อย่าง

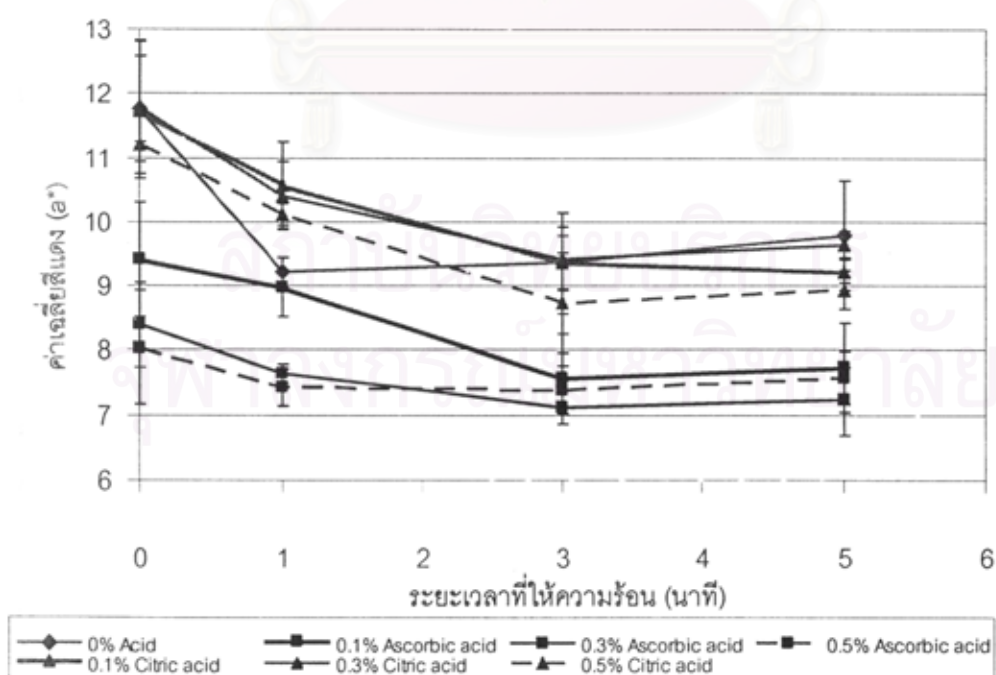
สมบูรณ์ และอาจมีผลของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มี เอนไซม์เร่งร่วมด้วย (Hutchings และ Fift, 1999)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดกับ ปริมาณสารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และระยะเวลาที่ให้ความร้อน พบว่า มีอิทธิพล ร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ต่อค่าความสว่าง (L^*) และมีอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ต่อค่าสีแดง (a^*) และสี เหลือง (b^*) จากรูปที่ 13-15 แสดงให้เห็นว่า การเติมกรดซิตริกควบคู่กับการให้ความร้อนจากไอน้ำไม่มี ผลช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลใน เนื้อมะตูม แต่การเติมกรดแอสคอร์บิกควบคู่กับการให้ความ ร้อนจากไอน้ำจะสามารถช่วยลดการเกิดปฏิกิริยา สีน้ำตาลในเนื้อมะตูมได้ โดยเนื้อมะตูมจะมีค่าความ สว่าง (L^*) เพิ่มมากขึ้น ค่าสีแดง (a^*) ลดลง และมีค่า สีเหลือง (b^*) เพิ่มมากขึ้น ผลที่ได้สอดคล้อง กับงานวิจัยของ Mao และคณะ (2007) ที่พบว่า การให้ความร้อนควบคู่กับการเติมกรดแอสคอร์บิก เข้มข้น 0.1% (w/w) มีผลช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา สีน้ำตาลและเพิ่มคุณภาพโดยรวมของน้ำอ้อยได้ และพบว่ากรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.3 และ 0.5% (w/w) ร่วมกับการให้ความร้อนนาน 3 นาที จะ ได้เนื้อมะตูมบดที่มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) สูงที่สุด และมีค่าสีแดง (a^*) ต่ำที่สุดอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมต่อการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา สีน้ำตาลใน เนื้อมะตูมคือ การเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 0.3% (w/w) ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเดือด จน จุดกึ่งกลางของเนื้อมะตูมมีอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้จะพบว่าเนื้อ มะตูมที่ได้ไม่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ peroxidase และมีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 4.61 ซึ่งค่า pH นี้ยังอยู่ ในช่วงที่เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L[®] สามารถทำงานได้ดี

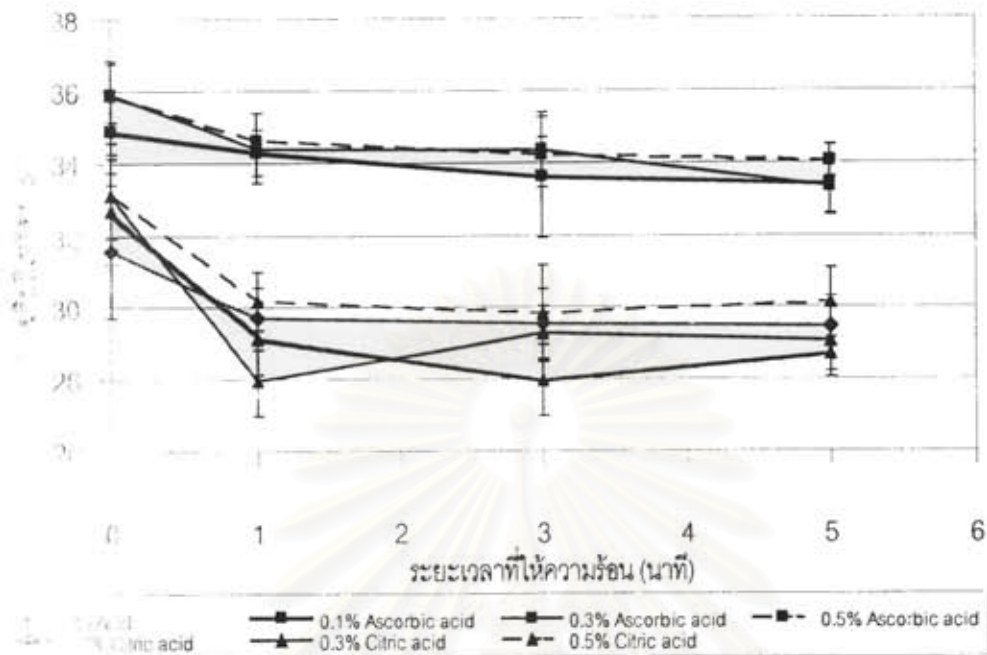
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L^*) ของเนื้อมะตูมบดที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ



รูปที่ 15 ค่าเฉลี่ยสีแดง (a^*) ของเนื้อมะตูมบดที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ



รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยสีเหลือง (b^*) ของเนื้อมะตูมบดที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ

1. สภาพผลการทดลอง

มะตูมที่เลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้คือ มะตูมแก่จัดป่มที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลมะปรางมีสีส้มอมเหลือง เริ่มมีสีน้ำตาลเล็กน้อย โดยให้กลิ่นมะตูมชัดเจน และมีรสหอมหวานธรรมชาติมากกว่าระยะอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีปริมาณใยอาหาร 4.12% แบ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 11.22% และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 8.62% โดยใยน้ำแข็ง มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน เท่ากับ $6.21 \mu\text{g dry mass}/\mu\text{g DPPH}$ หรือ $102.63 \mu\text{M Trolox}$ ต่อ $100 \mu\text{g dry mass}$ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด $8.96 \mu\text{g carotenoid/g fresh mass}$ และเมื่อวิเคราะห์สารให้กลิ่นระเหยโดยใช้เทคนิค SPME/GC/MS พบว่ามีสารให้กลิ่นระเหยทั้งหมด 30 ชนิด สารให้กลิ่นเอกลักษณ์เฉพาะของมะตูมคือ Limonene และภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลในเนื้อมะตูมได้แก่ การเติมกรด แอสคอร์บิกเข้มข้น 0.3% (w/w) ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเดือดจนจุดกึ่งกลาง เนื้อมะตูมมีอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที

- Maisuthisakul, M., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. Food Chemistry. 100: 1409–1418.
- Mao, L. C., Xu, Y. Q., and Que, F. 2007. Maintaining the quality of sugarcane juice with blanching and ascorbic acid. Food Chemistry. 104: 740-745.
- Morton, J. F. 1987. Fruits of Warm Climates. Winterville, N.C.: Creative Resource Systems Inc.
- Nelson, N. 1944. Determination of glucose. Journal Biological and Chemistry. 153: 375-380.
- Pearson, D. 1970. The Chemical Analysis of Food. 6th ed. New York: Chemical Publishing.
- 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, Inc.
- Shewfelt, R. L. and Prussia, S. E. 1993. Postharvest Handling a Systems Approach. California: Academic press Inc.
- 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.
- Tavarini, S., Degl'Innocenti, E., Remorini, D., Massai, R., and Guidi, L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. Food Chemistry. 107: 282-288.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Ckrosby, K., Cisneros-Zevallos, L., and Byrne, D.H. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. Journal of Food Composition and Analysis. 19: 669-675.
- Thompson, A. K. 1996. Postharvest Technology of Fruit and Vegetables. Cambridge, MA.: Blackwell Science. Ltd.
- Tokitomo, Y., Shimono, Y., Kobayashi, A., and Yamanishi, T. 1982. Aroma Components of Baelfruit (*Aegle marmelos* CORREA). Journal of Agricultural and biological chemistry. 46 (7): 1873-1877.
- Vámos-Vigyázó, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 15: 49-127.

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 5

การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากพุทราพันธุ์สามรส

Ziziphus mauritiana Lam.

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

โดย นางสาวชัมย์พร แรงกลาง และ รศ.ดร. ปราณี อำนเป็รื่อง

ตอนที่ 1

การคัดเลือกวัตถุดิบและการเลือกสภาวะการสกัดมิวซิเลจจากพุทรา

Select level of raw material and extraction condition of mucilage from jujube

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะการสกัดมิวซิเลจจากพุทราพันธุ์สามรส เพื่อใช้เป็นอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ โดยเลือกระดับความสุกของพุทราเพื่อหาระยะความสุกที่มีปริมาณ มิวซิเลจมากที่สุด เพื่อจะให้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งได้แบ่งระยะความสุกออกเป็น 3 ระดับ คือ บ่มพุทราเป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน ซึ่งพบว่า ระยะความสุกของพุทราที่บ่มเป็นเวลา 9 วัน มีระดับมิวซิเลจสูงที่สุด โดยมากกว่าระยะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้พุทราสุกที่บ่มไว้ 9 วันเป็นวัตถุดิบ จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ โดยแปรระยะเวลาการลวกผลพุทราสุกด้วยไอน้ำ 85°C 6 ระดับ คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่า ภาวะที่เหมาะสม คือ การลวกผลพุทราสุกด้วยไอน้ำ 85°C เป็นเวลา 3 นาที เนื่องจากใช้เวลาน้อยที่สุดในการยับยั้ง activity ของเอนไซม์ peroxidase ได้ และจากศึกษาสภาวะการสกัดมิวซิเลจจากพุทราสุกที่เลือกได้ โดยการศึกษาอัตราส่วนเนื้อพุทราสุกต่อน้ำ คือ 1:3, 1:5 และ 1:7 และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจ คือ 30°C , 45°C และ 60°C พบว่า ที่ระดับอัตราส่วนเนื้อต่อน้ำ 1:7 และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจที่ 60°C ได้ปริมาณมิวซิเลจสูงที่สุดและมีความแตกต่างจากสภาวะการสกัดระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนั้นศึกษาสภาวะในการตกตะกอนมิวซิเลจด้วยแอลกอฮอล์ โดยการศึกษาอัตราส่วนของสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol 4 ระดับ คือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่า ที่ระดับอัตราส่วนของสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol 1:3 เป็นภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนมิวซิเลจ

1. บทนำ

ปัจจุบันโยอาหารเริ่มเข้ามามีบทบาทในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากโยอาหารมีความสำคัญต่อสุขภาพในการป้องกันและบรรเทาอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหาร ควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสและคอเลสเตอรอลในเลือด อีกทั้งมีค่าพลังงานต่ำ และแสดงสมบัติเชิงหน้าที่ต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความหนืด การให้เนื้อสัมผัส ความสามารถในการดูรับน้ำมัน ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน และการเกิดเจล (Grigelmo-Miguel และ Martin-Belloso, 1999 ; Medina-Torres และคณะ, 2000; Garcia และคณะ, 2002) จึงทำให้โยอาหารได้รับความสนใจมากขึ้นมีการเติมโยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบต่างๆตามชนิดของโยอาหาร โยอาหารไม่ละลายน้ำมักใช้เติมในผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืช ผลิตภัณฑ์ขนมอบ แหล่งโยอาหารไม่ละลายน้ำที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ รำข้าว รำข้าวสาลี ข้าวโพด สำหรับโยอาหารละลายน้ำมักเติมในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหลว เช่น เครื่องดื่ม ครีมสลัด และไอศกรีม เนื่องจากมีความสามารถในการจับกับน้ำสูงและให้ลักษณะข้นหนืด โยอาหารประเภทนี้ ได้แก่ เพคติน กัม และมิวซิเลจ ซึ่งโยอาหารละลายน้ำมีความสำคัญและใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร ราคาค่อนข้างสูง ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการทำการวิเคราะห์การผลิตโยอาหารจากผลิตผลทางการเกษตรมากขึ้นแต่ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย โดยเฉพาะโยอาหารละลายน้ำซึ่งส่วนใหญ่พบในผลไม้ สำหรับพุดราจัดเป็นผลไม้ที่พบว่ามีปริมาณโยอาหารกลุ่มที่ละลายได้ในปริมาณสูง น่าจะเป็นแหล่งของวัตถุดิบ เพื่อนำมาผลิตโยอาหารได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลพุดราสุก ผลจะมีลักษณะหยาบและนิ่ม เนื้อภายในจะมีลักษณะเป็นเมือกสีนํ้าปริมาณมาก ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากพุดราในตลาดค่อนข้างน้อยและมีราคาค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงได้หากระบวนการเพิ่มมูลค่าให้กับพุดรา โดยการนำมาผลิตผงเมือกและโยอาหารผง

สำหรับขั้นตอนในการผลิตผงเมือก ประกอบด้วย ขั้นตอนการสกัดผงเมือกหรือมิวซิเลจด้วยน้ำ ขั้นตอนการตกตะกอนเมือกเพื่อแยกเมือกกับน้ำ และขั้นตอนการทำแห้งเมือกที่ได้ ซึ่งมีนักวิจัยหลายคนได้คิดหากระบวนการสกัดมิวซิเลจและทำบริสุทธิ์ ส่วนใหญ่เห็นว่ากระบวนการเหมาะสมในการสกัดและทำบริสุทธิ์มิวซิเลจ คือ การสกัดมิวซิเลจโดยการ homogenize วัตถุดิบด้วยน้ำ และทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนด้วย ethanol (Saenz และคณะ, 2004) Sepulveda และคณะ (2007) ทดลองสกัดมิวซิเลจ จากพืชในกลุ่มกระบองเพชร (*Opuntia spp.*) โดยนำตัวอย่างมา homogenize ผสมกับน้ำพบว่า ตัวอย่างผสมน้ำ 1:7 อุณหภูมิการสกัด $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 4 ชม. ได้ปริมาณผลผลิตมิวซิเลจสูงที่สุด และนำมิวซิเลจที่ได้มาตกตะกอนด้วย isopropyl alcohol และ ethanol พบว่า อัตราส่วนสารละลายมิวซิเลจต่อแอลกอฮอล์ 1:3 ผลผลิตที่ได้ของการตกตะกอนด้วย ethanol มากกว่า isopropyl alcohol แต่ที่อัตราส่วน 1:4 ผลผลิตที่ได้ของการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ ทั้ง 2 เท่ากัน ศศิธร และปราณี (2002a) ศึกษาการผลิตเมือกเมล็ดแมงลัก พบว่า ภาวะเหมาะสมในการผลิตผงเมือกเมล็ดแมงลัก ประกอบด้วย

3 ขั้นตอนหลัก คือ การสกัดในภาวะแบบเปียกด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 60°C นาน 1 ชั่วโมง ตามด้วยการฟอกสีโดยวิธี Alkaline Hydrogen Peroxide ใช้ 30% H_2O_2 ที่ pH 9.0 นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C จะได้ผงเมือกเมล็ดแมงลักที่มีลักษณะที่ดีในด้านสีขาวครีม ด้านความสามารถในการข้มน้ำ และปริมาณใยอาหารทั้งหมด ในปีเดียวกัน ศศิธร และปราณี (2002b) ศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของผงเมือกเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับ กัวร์กัม โลคัสปีนกัม และแซนแทนกัม พบว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักมีลักษณะการไหลแบบ Newtonian ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ และแบบ Pseudoplastic ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 0.5% เช่นเดียวกับสารละลายกัวร์กัม และแซนแทนกัม การไหลของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักที่สภาวะต่างๆ พบว่ามีพฤติกรรมเหมือนกับสารละลายกัวร์กัม โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล และค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายจะลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ อัตราการเฉือน และความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย

สำหรับขั้นตอนการผลิตใยอาหารผงประกอบด้วย ขั้นตอนการบดเปียกวัตถุดิบ เพื่อลดขนาดของวัตถุดิบให้มีขนาดที่เหมาะสม โดยถ้าหากขนาดอนุภาคเล็กมากจะทำให้สามารถเข้าไปได้มากในขั้นตอนการล้าง และเกิดการสูญเสียผลผลิตได้ง่ายในระหว่างกระบวนการแยก ขั้นตอนการล้าง เพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการและจุลินทรีย์ก่อโรค ออกจากใยอาหาร Larrauri และคณะ (1997) ศึกษากระบวนการล้างต่อคุณภาพของใยอาหารจากเปลือกส้ม พบว่า เมื่อล้างด้วยน้ำร้อนใยอาหารที่ได้มีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าล้างด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง การล้างด้วยน้ำร้อนวัตถุดิบขนาดอนุภาค 15 มม. มีความสามารถในการข้มน้ำมาก กว่าวัตถุดิบขนาดอนุภาค 5 มม. ขั้นตอนการอบแห้งและการบดแห้ง เป็นการกำจัดน้ำออกจากใยอาหารหลังจากขั้นตอนการล้าง เพิ่มอายุการเก็บของใยอาหารโดยไม่ต้องใช้สารเคมี ลดขนาดของบรรจุภัณฑ์และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Larrauri, 1999) นอกจากนี้ได้มีการปรับปรุงการผลิตใยอาหารโดยการใช้เอนไซม์เพคตินเอส ซึ่งเอนไซม์จะไปย่อยสลายเพคตินและเซลลูโลส ให้เป็นโพลีเมอร์สายสั้นลง เพื่อให้ใยอาหารที่ได้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มขึ้น และช่วยเพิ่มปริมาณใยอาหารที่ละลายได้ Sakamoto และคณะ (2006) ใช้เอนไซม์ 18 ชนิด สกัดใยอาหารจาก burdock roots และ bamboo shoots พบว่า เอนไซม์ Cellulosin ME ทำให้ใยอาหารที่ได้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มขึ้นมากที่สุด ตามด้วยเอนไซม์ pectinase จากการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ Cellulosin ME ในช่วงความเข้มข้น 0.02-1.0 % เวลาการทำปฏิกิริยา 20 นาที พบว่าความแข็งแรงของใยอาหารจาก burdock roots และ bamboo shoots ลดลงอย่างรวดเร็ว และจากการใช้เอนไซม์ Cellulosin ME ในการสกัดใยอาหาร burdock roots พบว่าช่วยเพิ่มใยอาหารละลายได้จากจาก 0.9 % เป็น 1.4 % ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตผงเมือกและใยอาหารผงจากพุทราโดยการใช้เอนไซม์ รวมทั้งศึกษาลักษณะเชิงหน้าที่ของผงเมือกและใยอาหารผงที่ได้ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพุทรา และนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

2. วิธีการทดลอง

1. คัดเลือกพุทราสุกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ

นำพุทราพันธุ์สามรสไปบ่มเป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน ซึ่งจะได้เป็นระดับความสุก 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 (บ่ม 3 วัน), ระดับที่ 2 (บ่ม 6 วัน) และ ระดับที่ 3 (บ่ม 9 วัน) หลังจากนั้นนำมาหาปริมาณมิวซิเลจเพื่อคัดเลือกระดับความสุกของพุทราที่มีปริมาณมิวซิเลจสูงที่สุด ซึ่งทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD

2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์

นำพุทราสุกที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 มาศึกษาระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำที่เหมาะสมเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ โดยนำพุทราทั้งผลมาลวกด้วยไอน้ำ อุณหภูมิ 85°C โดยแปรระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ 6 ระดับ คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในน้ำเย็น และนำพุทราที่ลวกในระดับต่างๆ มาวัดกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase เลือกภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาภาวะที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ได้ทั้งหมด

3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซิเลจ

โดยแปรปริมาณอัตราส่วนของเนื้อพุทราสุกที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 มาสกัดด้วยน้ำ ด้วยอัตราส่วนของเนื้อพุทราต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 1:3, 1:5 และ 1:7 และแปรปริมาณอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจ 3 ระดับ คือ 30°C, 45°C และ 60°C เลือกสภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาสภาวะที่ได้ร้อยละของผลผลิตเมือกมากที่สุด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จัดการทดลองแบบ 3x3 factorial ในแผนการทดลอง CRD

4. ศึกษาสภาวะในการตกตะกอนมิวซิเลจด้วยแอลกอฮอล์

นำสารละลายมิวซิเลจที่สกัดได้จากข้อ 3 นำมาตกตะกอนด้วย ethanol โดยแปรอัตราส่วนของสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol 4 ระดับ คือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 นำไป centrifuge และอบแห้งหาร้อยละของผลผลิตเมือก จัดการทดลองแบบ CRD เลือกสภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาสภาวะที่ได้ร้อยละของผลผลิตเมือกมากที่สุด หลังจากนั้นนำมิวซิเลจที่สกัดได้มาฟอกสี โดยวิธี AHP และนำมาทำแห้งด้วยวิธี freeze dry

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คัดเลือกพุทราสุกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ

จากผลการทดลอง พบว่า ระยะเวลาการสุกของพุทราที่มีผลต่อปริมาณมิวซิเลจ ดังตารางที่ 18 ซึ่งจากการบ่มพุทราเป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน พบว่า พุทราสุกระดับที่ 3 คือ บ่มเป็นเวลา 9 วัน มีปริมาณมิวซิเลจ มากที่สุด ซึ่งเท่ากับ 1.4613 % dry weight และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณมิวซิเลจในระดับที่ 3 มีความแตกต่างจากระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การให้ระดับความสุกที่ 3 (บ่มเป็นเวลา 9 วัน) เป็นระดับพุทราที่มีความสุกมากที่สุดเนื่องจากเมื่อบ่มนานกว่านี้ ผลพุทราจะเกิดการเน่าเสีย โดยระดับความสุกที่ 3 หากสังเกตจะเห็นได้ว่าจะมีเมือกสีน้ำตาล ปริมาณมากกว่าระดับที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ โดยเมือกสีน้ำตาลนั้นคือปริมาณมิวซิเลจที่มีอยู่ในผลพุทรา ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้

ตารางที่ 18 ปริมาณมิวซิเลจที่ได้จากพุทราสุก 3 ระดับ

ระดับความสุก	ปริมาณมิวซิเลจ (% dry weight)
ระดับที่ 1 (บ่ม 3 วัน)	0.7455 ^a ±0.02
ระดับที่ 2 (บ่ม 6 วัน)	0.9273 ^b ±0.05
ระดับที่ 3 (บ่ม 9 วัน)	1.4613 ^c ±0.02

**หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์

จากการลวกผลพุทราสุกด้วยไอน้ำ 85°C โดยแปรรยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ 5 ระดับ คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่า เมื่อทำการลวกผลพุทราสุกด้วยไอน้ำ 85°C เป็นเวลา 3, 4 และ 5 นาที ไม่พบ activity ของ เอนไซม์ peroxidase หรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ peroxidase ได้ ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการศึกษา คือ การลวกผลพุทราสุกด้วยไอน้ำ 85°C เป็นเวลา 3 นาที เนื่องจากใช้เวลาน้อยที่สุดในการยับยั้ง activity ของ เอนไซม์ peroxidase ได้ ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการตรวจสอบ activity ของ เอนไซม์ peroxidase ในผลพุทราที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 85°C ที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลา (นาทีก)	activity ของ เอนไซม์ peroxidase
0	+
1	+
2	+
3	-
4	-
5	-

**หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ

เครื่องหมาย + คือ พบ activity ของ เอนไซม์ peroxidase

เครื่องหมาย - คือ ไม่พบ activity ของ เอนไซม์ peroxidase

3. เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซิเลจ

จากการสกัดมิวซิเลจโดยการสกัดมิวซิเลจจากพุทราที่ระดับอัตราส่วนเนื้อพุทราต่อ น้ำ 3 ระดับ คือ 1:3, 1:5 และ 1:7 และแปรปริมาณอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจ 3 ระดับ คือ 30°C, 45°C และ 60°C พบว่าที่ระดับอัตราส่วนเนื้อพุทราต่อ น้ำ 1:7 และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจที่ 60°C สกัดมิวซิเลจได้ปริมาณสูงที่สุดคือ เท่ากับ 1.9583 (% dry weight) ซึ่งเมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ที่ระดับอัตราส่วนเนื้อต่อ น้ำ 1:7 และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจที่ 60 °C มีความแตกต่างจากสภาวะการสกัดระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อเนื้อและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน ดังตารางที่ 20 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Sepulveda และคณะ (2007) รายงานว่าที่ สภาวะการสกัดมิวซิเลจโดยใช้อัตราส่วนเนื้อต่อ น้ำ 1:7 ส่งผลให้ได้ปริมาณมิวซิเลจสูง

ตารางที่ 20 ปริมาณมิวซิเลจที่ได้จากพุทราสุก ที่สภาวะการสกัดต่างๆ

อัตราส่วนเนื้อต่อน้ำ	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณมิวซิเลจ (% dry weight)
1:3	30	1.4908 ^a ±0.04
	45	1.5149 ^{ab} ±0.03
	60	1.5057 ^{ab} ±0.02
1:5	30	1.5175 ^{ab} ±0.01
	45	1.5311 ^{ab} ±0.01
	60	1.5468 ^b ±0.01
1:7	30	1.7924 ^c ±0.01
	45	1.8174 ^c ±0.05
	60	1.9583 ^d ±0.00

**หมายเหตุ ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าตัวเลขในแนวอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. ศึกษาสภาวะในการตกตะกอนมิวซิเลจด้วยแอลกอฮอล์

จากการนำสารละลายมิวซิเลจที่สกัดได้มาตกตะกอนด้วย ethanol โดยแปรอัตราส่วนของสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol 4 ระดับ คือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่า เมื่อทำการตกตะกอนสารละลายมิวซิเลจด้วย ethanol ที่อัตราส่วน 1:2 พบว่า ได้ร้อยละของผลผลิตเมือกน้อยที่สุดซึ่งว่ามีค่าแตกต่างจากอัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ที่อัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 ไม่มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 21 ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสารละลายมิวซิเลจด้วย ethanol คือ 1:3 เนื่องจากเป็นภาวะที่ได้ร้อยละของผลผลิตเมือกมากที่สุด

ตารางที่ 21 ปริมาณมิวซิเลจที่ได้จากการตกตะกอน ที่อัตราส่วนสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol ระดับต่างๆ

อัตราส่วนสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol	ปริมาณมิวซิเลจ (% dry weight)
1:2	1.7501 ^a ±0.01
1:3	1.9513 ^b ±0.02
1:4	1.9523 ^b ±0.04
1:5	1.9528 ^b ±0.07

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. สรุปผลการทดลอง

พืชร้าที่บ่มเป็นเวลา 9 วัน มีระดับมิวซิเลจสูงที่สุด โดยการลวกผลพืชร้าสุกด้วยไอน้ำ 85°C เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้ง activity ของเอนไซม์ peroxidase ได้ สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซิเลจคือ การสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วนเนื้อพืชร้าสุกต่อน้ำ 1:7 โดยใช้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซิเลจ 60°C ทำให้ได้ปริมาณมิวซิเลจมากที่สุด และการตกตะกอนสารละลายมิวซิเลจด้วย ethanol ในอัตราส่วนสารละลายมิวซิเลจต่อ ethanol 1:3 เป็นภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนมิวซิเลจ

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. เอกสารอ้างอิง

- ศศิธร เรืองจักรเพชร และ ปราวณี อานเป็รื่อง. 2002a. การผลิตผงเมือกเมล็ดแมงลัก. อาหาร. 32(2): 144-153.
- ศศิธร เรืองจักรเพชร และ ปราวณี อานเป็รื่อง. 2002b. ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของผงเมือกเมล็ดแมงลัก. อาหาร. 32(3):144-153.
- Garcia, M.L., Dominguez, R., Galvez, M.D., Casas, C., and Selgas, M.D. 2002. Utilization of cereal and fruit fibers in low fat dry fermented sausages. Meat Science . 60:227-236.
- 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, 1999. New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by product. Trends in Food Science. & Technology. 10:3-8.
- Larrauri, J.A, Borroto, B., and Crespo, A. 1997. Water recycling in processing orange peel to a high dietary fiber powder. Trends in Food Science. & Technology. 32:73-76.
- Medina-Torres, L., Fuente, E.B, Torrestiana-Sanchez, B. and Katthain, R. 2000. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). Food Hydrocolloids. 14: 417-424.
- Saenz, C., Sepulveda, E., and Matsuhiro, B. 2004. *Opuntia* spp mucilage' s: functional component with industrial perspectives. Journal of Arid Environments. 57: 275-290.
- Sakamoto, K., Shibata, K., and Ishihara, M. 2006. Decreased hardness of dietary fiber-rich foods by the enzyme-infusion method. Bioscience Biotechnology Biochemistry. 70(7): 1564-1570.
- Sepulveda, E., Saenz, C., Aliaga, E., and Aceituno, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. Journal of Arid Environments. 68: 534-545.

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 6
ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน
จากไฮโดรไลเสทของมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L.
EFFECT OF ENZYMES ON EMULSION STABILIZING PROPERTIES OF
NHAM DOK MAI MANGO *Mangifera indica* L. FRUIT HYDROLYSATE
โดย นางสาวเกวลี คุรุณาสวัสดิ์ และ รศ.ดร. ปราณี อานเป็รื่อง

ตอนที่ 1

ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ และการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ปั่น
Physicochemical characteristics of raw material and control the browning of mango pulp

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไฮโดรไลเสทมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทินเนสทางการค้า (Pectinex™ Ultra SP-L) และศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสทของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผลิตได้ จากการศึกษาพบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้สุกที่มีค่าสีในระบบ CIE LAB ($L^* = 49.40-50.34$, $b^* = 32.21-32.67$), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (19.00-19.40 °Brix), ค่าความเป็นกรดต่าง (5.14-5.22), ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (0.39-0.43%) เป็นระยะความสุกที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการทางเอนไซม์สำหรับผลิตไฮโดรไลเสทมะม่วงน้ำดอกไม้ จากการศึกษาการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของมะม่วงน้ำดอกไม้ปั่น โดยแปรความเข้มข้นกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกในช่วง 0–0.5% น้ำหนักต่อปริมาตร และแปรระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 85°C นาน 0–5 นาที พบว่าการเติมปริมาณกรดแอสคอร์บิก 0.5% น้ำหนักต่อปริมาตร ร่วมกับการลวกด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 5 นาที เป็นภาวะที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมะม่วงน้ำดอกไม้ปั่น

1. บทนำ

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย และอยู่ร่วมกับวัฒนธรรมการบริโภคของไทยมาแต่โบราณ มีกลิ่นรสเป็นเอกลักษณ์ เนื้อมีสีเหลืองทอง มีคุณค่าทางโภชนาการ และประกอบด้วยสารที่มีหน้าที่เฉพาะที่สำคัญหลายชนิด เช่น เพกทิน แคลโรทิน และวิตามินต่าง ๆ (Budi, Ahmad และ Judy, 2001; Cano และ Begona, 1994; Sakho, 1998) สำหรับสารที่มีหน้าที่เฉพาะที่มีปริมาณมาก และโดดเด่นในมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้แก่ เพกทิน จากรายงานของกองโภชนาการ (2530) พบว่าเนื้อมะม่วงสุกประกอบด้วยเพกทิน 1.1%โดยน้ำหนัก เพกทินมีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮโดรโฟบิก และหมู่ไฮโดรฟิลิกสามารถกระจายตัวในน้ำเพิ่มความข้นหนืดให้กับวุ้นภาคน้ำ ลดโอกาสการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน และเพกทินยังสามารถเกิดพันธะกับโปรตีนช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับอาหารระบบอิมัลชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) แต่เนื่องจากเพกทินที่ได้จากการบีบคั้นธรรมชาติ จะมีสายพอลิเมอร์ยาวแสดงความมีขั้วน้อยทำให้ไม่สามารถแสดงสมบัติของสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชัน ซึ่ดจำกัดของการใช้เพกทินสามารถลดลงได้โดยการใช้เอนไซม์เพกทินเนสย่อยสลายโมเลกุลของเพกทินให้เล็กลง และเพิ่มความมีขั้วให้กับโมเลกุลของเพกทิน ได้สัดส่วนที่สมดุลระหว่างหมู่ไฮโดรโฟบิก และไฮโดรฟิลิกช่วยรักษาเสถียรภาพของอิมัลชัน

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เพกทินเป็นสารเพิ่มความเสถียรภาพในผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชัน

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

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

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

จากฐานข้อมูลข้างต้นนำไปสู่งานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการผลิตไฮโดรไลเซตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีเพกทินที่ถูกย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เพกทินเนสทางการค้า (Pectinex™ Ultra SP-L)

และศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้ รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) ที่เตรียมจากกะทิ เพื่อเป็นวิถีทางการประยุกต์ข้อมูลการเกิดอิมัลชันกับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทครีมชั้น เช่นสังขยา มายองเนสผสมเนื้อผลไม้ และน้ำสลัดที่มีสี กลิ่น รสมะม่วงน้ำดอกไม้

2. วิธีการทดลอง

2.1. วัตถุดิบ

มะม่วงน้ำดอกไม้ผลแก่ (mature) ขนาดกลางน้ำหนัก 301-359 กรัมต่อผล ที่จมน้ำแต่ลอยในน้ำเกลือ 3% (ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.00 – 1.02) (Subramanyam, Gouri และ Krishnamurthy, 1976)

2.2. คัดเลือกระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบ

บ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 ที่อุณหภูมิห้อง แบ่งความสุกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 มะม่วงน้ำดอกไม้ค่อนข้างสุกเปลือกมีสีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย และเนื้อแข็ง ระดับที่ 2 มะม่วงน้ำดอกไม้สุกเปลือกมีสีเหลืองทั่วทั้งผล และเนื้อแข็ง ระดับที่ 3 มะม่วงน้ำดอกไม้สุกเปลือกมีสีเหลืองทั่วทั้งผล มีจุดสีดำเล็กน้อย และเนื้อนิ่ม

คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวมแบบ Quantitative Descriptive Analysis Test (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 20 คน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test นำมะม่วงน้ำดอกไม้ที่คัดเลือกได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ได้แก่

- วัดสีระบบ CIE LAB โดยใช้เครื่อง Minolta รุ่น CR 300
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid: °brix) โดยใช้ Hand refractometer Atago รุ่น N-1α 0-32°Brix
- ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยใช้ pH meter Schott รุ่น CG 825
- ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (%Total acidity) (A.O.A.C., 1995)

2.3. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ปั่น

นำมะม่วงน้ำดอกไม้สุกที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 มาศึกษาชนิดกรดอินทรีย์ ความเข้มข้นกรดอินทรีย์ และระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำที่เหมาะสมเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยตีปั่นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุกให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผสมอาหาร จากนั้นแปรระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ อุณหภูมิ 85°C 4 ระดับ ในช่วง 0 – 5 นาที และแปรความเข้มข้นกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิก 3 ระดับ ในช่วง 0 – 0.5 % น้ำหนักต่อปริมาตร ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในน้ำเย็น วางแผนการทดลองแบบ 2x4x3 Factorial ในแผนการทดลอง CRD เลือกภาวะที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ค่าสีระบบ CIE LAB ควบคุม

กับการวัดกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คัดเลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สุกสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบ

จากการทดลองพบว่า ระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รส ของมะม่วงน้ำดอกไม้ แสดงดังตารางที่ 22 ซึ่งพบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ระดับ 3 ได้รับคะแนนด้านสี กลิ่น รส มากกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ระดับ 2 และระดับ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่า เมื่อระดับการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สูงขึ้นค่า b^* จะมีความมากขึ้น (ตารางที่ 23) เนื่องจากเมื่อผลไม้แก่เต็มที่ (เข้าสู่ระยะ maturation) ผลไม้จะมีการอัตราการหายใจมากขึ้นทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลไม้ลดลงเกิดเป็นสารให้สีเหลือง หรือสีแดงขึ้นมาแทนซึ่งเป็นสารให้สีกลุ่มแคโรทีนอยด์ ดังนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์จึงถูกสังเคราะห์มากขึ้นในระหว่างการสุกของผลไม้ (Hulme, 1971; Goldman, Horev และ Saguy, 1983) สำหรับค่า L^* พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าในระหว่างการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) มีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลไม้แก่เต็มที่จะมีแป้งสะสมปริมาณมาก เมื่ออัตราการหายใจของผลไม้เพิ่มสูงขึ้นแป้งที่สะสมอยู่ในผลไม้จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล ผลไม้จึงมีรสหวานเพิ่มขึ้น สำหรับค่า pH พบว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้น และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกมีค่าลดลงในระหว่างการสุกของผลไม้ เนื่องจากปริมาณกรดอินทรีย์ในผลไม้ เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในวัฏจักรเครบ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดในผลไม้จะลดลง มีผลให้ค่า pH เพิ่มมากขึ้น (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993)

ตารางที่ 22 คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก

ระดับความสุก	ลักษณะทางประสาทสัมผัส		
	สี	กลิ่น มะม่วงน้ำดอกไม้	รสชาติ
1	3.60 ^c ± 0.25	3.35 ^c ± 0.19	2.93 ^c ± 0.19
2	3.86 ^b ± 0.20	3.72 ^b ± 0.41	3.58 ^b ± 0.20
3	4.40 ^a ± 0.30	4.24 ^a ± 0.35	4.42 ^a ± 0.23

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 23 องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก

ระดับความสุก	สี		Total soluble solid ("Brix)	pH	%Total acidity
	L*	b*			
1	50.35 ^a ± 0.51	36.41 ^c ± 0.22	13.00 ^b ± 0.09	4.54 ^b ± 0.09	0.71 ^c ± 0.04
2	49.62 ^a ± 0.33	37.26 ^b ± 0.13	18.78 ^a ± 0.15	4.55 ^a ± 0.03	0.58 ^b ± 0.04
3	49.87 ^a ± 0.47	39.44 ^a ± 0.23	19.20 ^a ± 0.20	5.18 ^a ± 0.04	0.41 ^a ± 0.02

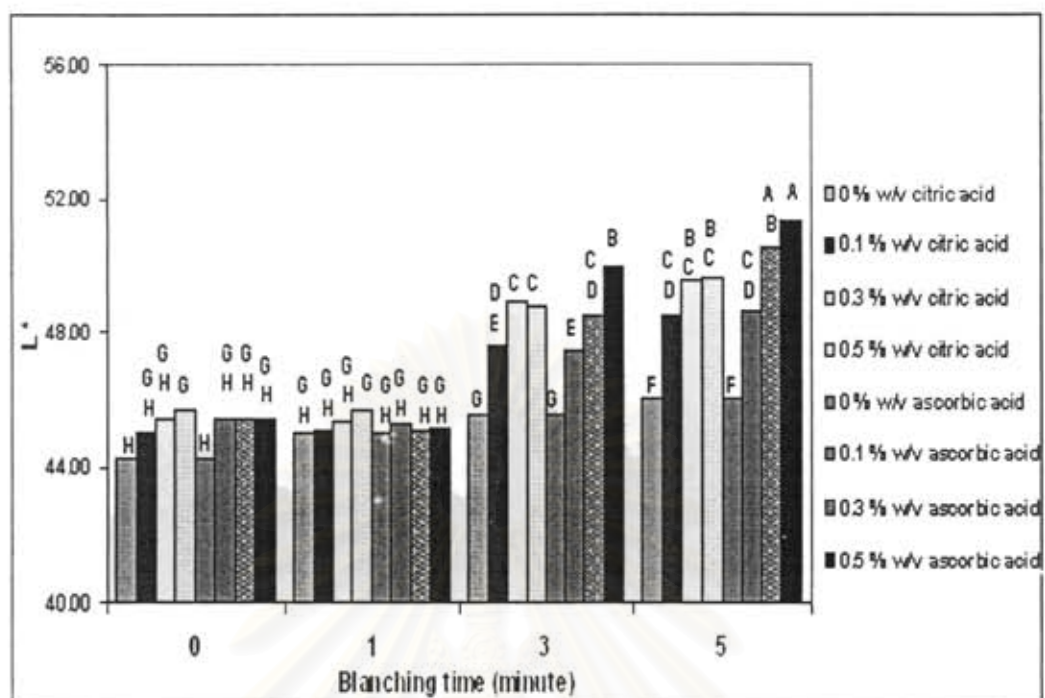
หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

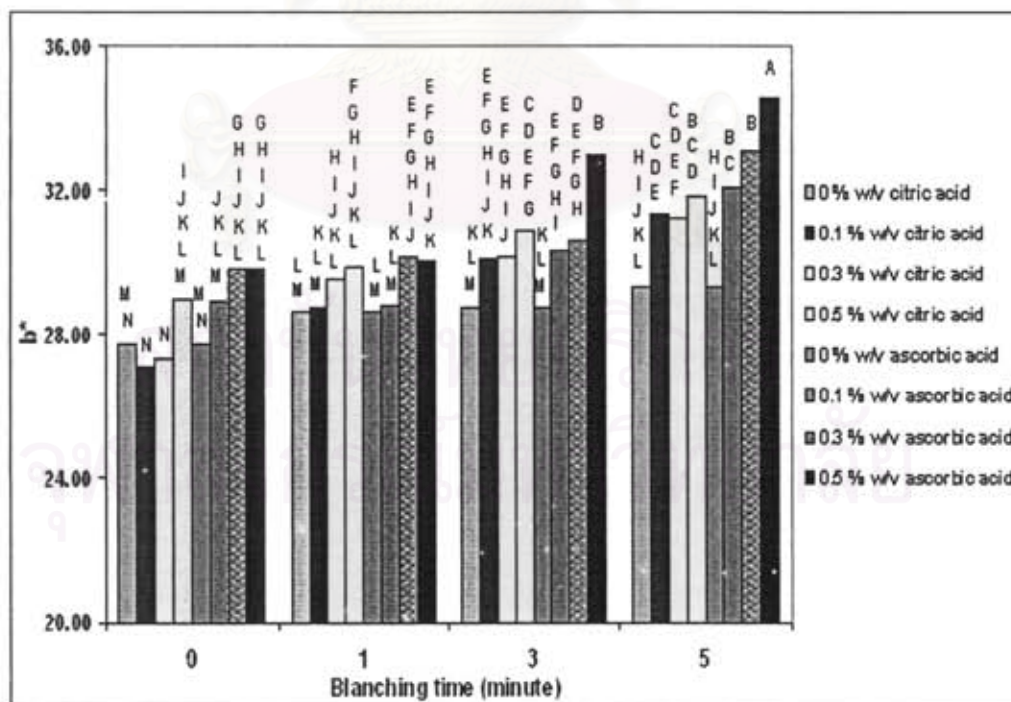
2. ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ปั่น

จากการทดลองพบว่าชนิดกรดอินทรีย์ ความเข้มข้นกรดอินทรีย์ และระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน และส่งผลต่อสีของมะม่วงน้ำดอกไม้ปั่น แสดงดังรูปที่ 1 และ 2 ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ และความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริกมากขึ้น ค่า L* และ b* จะมีแนวโน้มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนจะทำให้แคโรทีนอยด์ในรูป all trans-form ที่พบในธรรมชาติเกิดการบิดตัว 180 องศา เป็น cis-form ซึ่งจะเสื่อมสภาพได้มากกว่ารูป trans-form และ cis-form ที่เกิดจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า และมี molecular extinction coefficient ที่ต่ำกว่าทำให้สีอ่อนกว่า โดยจะเปลี่ยนจากสีส้มแดง (a*) เป็นสีส้มเหลือง (b*) นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในมะม่วงน้ำดอกไม้สำหรับกรดแอสคอร์บิกจะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยกรดแอสคอร์บิกจะรีดิวซ์ o-quinone ทำให้กรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดซ์เป็น dehydroascorbic acid และกรดแอสคอร์บิกยังช่วยปรับให้ pH ลดลง ทำให้เกิดภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) (Sakho และคณะ, 1998; Sapers, 1993)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การเติมกรดแอสคอร์บิก 0.3 % น้ำหนักต่อปริมาตร และ 0.5 % น้ำหนักต่อปริมาตร ร่วมกับการลวกด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 5 นาที จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ได้มะม่วงน้ำดอกไม้ปั่นที่มีค่าความสว่างมาก (L*) และแตกต่างจากทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสีเหลือง (b*) และกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส พบว่าภาวะที่เติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 % น้ำหนักต่อปริมาตร ร่วมกับการลวกด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 5 นาที ได้มะม่วงน้ำดอกไม้ปั่นที่มีค่า b* มากที่สุด และแตกต่างจากทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ภาวะดังกล่าวสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่า L*, b* และกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5 % น้ำหนักต่อปริมาตร ร่วมกับการลวกด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 5 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุกปั่น



รูปที่ 17 ค่า L* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่ระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ 0, 1, 3, 5 นาที ของกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 18 ค่า b* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่ระยะเวลาการลวกด้วยไอน้ำ 0, 1, 3, 5 นาที ของกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

4. สรุปผลการทดลอง

มะม่วงน้ำดอกไม้สุกที่มีค่าสีในระบบ CIE LAB ($L^* = 49.40-50.34$, $b^* = 32.21-32.67$), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (19.00-19.40 °Brix), ค่าความเป็นกรดต่าง (5.14-5.22), ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (0.39-0.43%) เป็นระยะความสุกที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก 0.5% น้ำหนักต่อปริมาตร ร่วมกับการลวกด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 5 นาที เป็นภาวะที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมะม่วงน้ำดอกไม้ดีป็น

5. เอกสารอ้างอิง

โภชนาการ, กอง. 2530. ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารของส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.

กรุงเทพมหานคร: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

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

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

A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis Chemists, 16th ed, The Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C.

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.

Goldman, M., Horev, B. and Saguy, I. 1983. Decolorization of beta-carotene in model system simulating dehydrated foods. Mechanism and kinetic principles. Journal of Food Science. 48: 751-754.

Hulme, A. C. 1971. The Mango. The biochemistry of fruits and their products. Vol. 2. London: Academic Press Publishing.

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.
- Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G. and Mazoyer, J. 2003. Emulsion stabilizing properties of pectin. Food Hydrocolloids. 17: 455-462.
- 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.
- Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means. Food technology. 47(2): 75-84.
- Seymour, G. B., Taylor, J. E., and Tucker, G. A. 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. New York: Chapman & Hall Publishing Company Limited.
- 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.
- Subramanyam, H., Gouri, S. and Krishnamurthy, S. 1976. Ripening behavior of mango fruits graded on specific gravity basis. Journal of Food Science and Technology. 13(2): 84-68.

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 นางสาวกรรณิการ์ สอนโยธา และ รศ.ดร. ปราณีย์ อำนเปื้อง

ตอนที่ 1

ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบแก้วมังกรแดง

Physicochemical characteristics of red dragon fruit

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้สีและใยอาหารจากแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง โดยใช้เอนไซม์ เพคตินเนส เซลลูเลส และ เฮมิเซลลูเลส และศึกษาลักษณะเฉพาะที่ต้องการด้านสี ความเข้มข้น เติยรภาพของสารให้สี และ การออกฤทธิ์ทางชีวภาพรวมถึงใยอาหารที่ได้ จากการศึกษาพบว่า แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงในส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกมีค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เป็น 5.57 μM และ 4.43 μM ตามลำดับ และวิธี ABTS เป็น 467.50 μM และ 247.83 μM ตามลำดับ มีค่า pH 4.33-5.11 และ 4.58-4.80 ตามลำดับ มีค่าสีในระบบ CIE LAB $L^* = 30.73-32.05$ $a^* = 9.90-11.38$ และ $L^* = 36.14-37.86$ $a^* = 21.82-23.04$ ตามลำดับ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็น 11.86-13.80 และ 3.04-4.04 °Brix ตามลำดับ

1. บทนำ

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose เป็นพืชในวงศ์ Cactaceae ปลูกกันมากที่จังหวัดราชบุรี นครปฐมและจันทบุรี ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีสีแดงสดอยู่ในส่วนที่เป็นเนื้อและเปลือก และมีใยอาหารกลุ่มเพคตินและมิวซิเลจจำนวนมาก (นฤมล มานีพพาน, 2548) น่าจะเป็นแหล่งของวัตถุตั้งต้นที่นำมาใช้เป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติแหล่งใหม่ได้ จากการค้นคว้าพบว่าพืชในวงศ์ 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 สำหรับผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงสามารถนำมาสกัดสารให้สีและยังมีใยอาหารที่มีเพคตินและมิวซิเลจ ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ชีวภาพรวมอยู่ด้วย (bioactive compounds)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้สีและใยอาหารจากแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง โดยใช้เอนไซม์ เพคตินเอส เซลลูเลส และ เฮมิเซลลูเลส และศึกษาลักษณะเฉพาะที่ต้องการด้านสี ความเข้มข้น สีเสถียรภาพของสารให้สี และการออกฤทธิ์ทางชีวภาพรวมถึงใยอาหารที่ได้

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C มาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4°C (Stintzing และคณะ, 2002) และแยกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อ และส่วนที่เป็นเปลือก

2. วิเคราะห์แอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH (Cai และคณะ, 2005) และ ABTS (Thaipong และคณะ, 2006)

2.1 การเตรียมสารสกัดจากเนื้อและเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง

2.1.1 นำเนื้อและเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงมาโดยแต่ละส่วนนั้นหนา 2-3 เซนติเมตร ปริมาณ 60 กรัม ใส่ลงใน blender เติมน้ำเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และปั่นให้ละเอียดด้วย blender นาน 1 นาที จากนั้นนำไป shaker ในที่มืด อุณหภูมิ 25°C นาน 4.5 ชั่วโมง

2.1.2 นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman® No 4 เพื่อแยกเอากากออก นำส่วนของเหลวสีที่ได้ไประเหยเอาเอทานอลออกด้วยเครื่อง Vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 75°C เก็บสารสกัดได้ในขวดสีชาที่มีฝาปิดสนิท ที่อุณหภูมิ -15°C

ปริมาณผลได้ (%Yield) ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอมทองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{Yield (\%)} = (W_1 \times 100) / W_2 \quad (1)$$

โดยที่ W_1 คือน้ำหนักของสารสกัดเนื้อและเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงที่ได้หลังจากที่ระเหยเอาเอทานอลออก และ W_2 คือน้ำหนักของเนื้อและเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงสด

2.2 การทดสอบแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH

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

2.3 การทดสอบแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี ABTS

การทดสอบแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันในเนื้อและเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงโดยวิธี ABTS มีขั้นตอนตามวิธีของ Thaipong และคณะ (2006)

3. วิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด และวัดสารให้สี

นำส่วนที่เป็นเนื้อมาปั่นด้วยความเร็วต่ำ จากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกส่วนที่เป็นเมล็ดสีดำออก สำหรับส่วนที่เป็นเปลือกนำไปปั่นโดยผสมกับน้ำที่อัตราส่วนระหว่างเปลือกต่อน้ำเป็น 1: 2 ตัวอย่างที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์ดังนี้

3.1 ความเป็นกรด-เบสโดยการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด (Total soluble solid: °brix) โดยใช้ Hand refractometer Atago รุ่น N-1A 0-32°Brix

3.3 วัดสีระบบ CIE LAB โดยใช้เครื่อง Minolta รุ่น CR 300 (Cai และ Croke, 2000)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. แอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ ABTS

จากการทดลองหาค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน จากส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง ด้วยวิธี DPPH และ ABTS เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองว่าเป็นไปตามแนวโน้มเดียวกัน พบว่า ค่าที่ได้จากวิธี DPPH ซึ่งจะแสดงในค่า EC_{50} ส่วนที่เป็นเนื้อมีค่าเท่ากับ 5.57 μM และส่วนที่เป็นเปลือกมีค่าเท่ากับ 4.43 μM สำหรับค่าที่ได้จากวิธี ABTS ส่วนที่เป็นเนื้อมีค่าเท่ากับ 467.50 μM และส่วนที่เป็นเปลือกมีค่าเท่ากับ 247.83 μM ดังในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จาก 2 วิธีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ ส่วนที่เป็นเนื้อจะมีค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน สูงกว่าที่มีอยู่ในเปลือก เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน จากความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีและแอกทิวิตีของ betalains ที่เป็น free radical scavenging activity โดยปกติจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของ hydroxyl/imino groups และยิ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ 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 24 แสดงค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ ABTS ที่ได้จากส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง

ส่วนของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง	ค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชัน	
	วิธี DPPH EC_{50} (μM)	วิธี ABTS μM Trolox equivalents /g fresh mass
ส่วนที่เป็นเนื้อ	5.57	467.50
ส่วนที่เป็นเปลือก	4.43	247.83

2. ความเป็นกรด-เบส ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด และวัดสารให้สี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง พบว่าทั้ง 2 ส่วนมีค่าความเป็นกรด-เบส ใกล้เคียงกันดังตารางที่ 25 ซึ่งก็เป็นไปตามที่ Cai และ Corke (1999) ได้กล่าวไว้ว่า betacyanin จะมีเสถียรภาพที่ดีที่สุดที่ pH 4-7 ซึ่งจะให้เห็นเป็นสีแดง ม่วงชัดเจน สำหรับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมดพบว่า ในส่วนที่เป็นเนื้อจะมีค่ามากกว่าในส่วนที่เป็นเปลือก เนื่องจากในส่วนที่เป็นเนื้อประกอบด้วยใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนในเปลือกจะประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ซึ่งไม่ละลายน้ำ ส่วนค่าสีที่ได้พบว่าส่วนของเปลือกมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ คาดว่าอาจเนื่องมาจากส่วนที่เป็นเนื้อมีเม็ดสีดำมาปนอยู่ด้วยเพราะไม่ได้เอาเม็ดออกจึงทำให้ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงลดลง

ตารางที่ 25 แสดงองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง

องค์ประกอบ	pH	TSS(°Brix)	L*value	a* value
ส่วนที่เป็นเนื้อ	4.72 ± 0.39	12.83 ± 0.97	31.39 ± 0.66	10.64 ± 0.74
ส่วนที่เป็นเปลือก	4.69 ± 0.11	3.54 ± 0.50	37.00 ± 0.86	22.43 ± 0.61

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. สรุปผลการทดลอง

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงในส่วนที่เป็นเนื้อและส่วนที่เป็นเปลือกมีค่าแอกทิวิตีของสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เป็น 5.57 μM และ 4.43 μM ตามลำดับ และวิธี ABTS เป็น 467.50 μM และ 247.83 μM ตามลำดับ มีค่า pH 4.33-5.11 และ 4.58-4.80 ตามลำดับ มีค่าสีในระบบ CIE LAB $L^* = 30.73-32.05$ $a^* = 9.90-11.38$ และ $L^* = 36.14-37.86$ $a^* = 21.82-23.04$ ตามลำดับ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็น 11.86-13.80 และ 3.04-4.04 °Brix ตามลำดับ

5. เอกสารอ้างอิง

- กมลลา สดัมภ์จรรย์, รสริน ต้นสวัสดิ์ และ มณฑิพากร นุ่มดี. 2548. การสกัดสีผสมอาหารจากเปลือกผล แก้วมังกร. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นฤมล มานิตพาน. 2548. แก้วมังกร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิ ปันยารชุน. 2522. สีผสมอาหาร:การวิเคราะห์สิ่งทีเติมลงในอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศิริธร ตั้งบุญสุข และ ณัฐกานต์ ประสพสายพรกุล. 2549. สีจากผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- 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.
- Nitithan, S., Nichachotsalid, A., and Komindr, S. 2004. Phytate and Fiber Content in Thai Fruits Commonly Consumed by Diabetic patients. Journal Medicine Association Thai 87: 1444-1446.
- Stutzing, 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.

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 8

การสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป *Cucumis melo* var. *cantalupensis*

พันธุ์ชั้นเลิศด้วยเอนไซม์

ENZYMATIC EXTRACTION OF FUNCTIONAL SUBSTANCES FROM
CANTALOUPE *Cucumis melo* var. *cantalupensis* HYBRID SUNLADY

โดย น.ส. นัญญาพร วุฒิสิริทธิ์และ รศ.ดร. ปราณีย์ อำนเป็รื่อง

ตอนที่ 1

คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศสำหรับเป็นวัตถุดิบ

บทคัดย่อ

การคัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ พบว่า ระดับการบ่ม 6 วัน มีองค์ประกอบทางกายภาพ และ คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด ทั้งด้าน สี รสชาติ กลิ่นหอมของแคนตาลูป และการยอมรับรวม ส่วนของกากใยติดกับเมล็ด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เป็น 8.9-9.36 °Brix pH ช่วง 6.7-6.9 ค่า L* 43.70-44.54 และค่า b* 14.72-15.62 มีคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสดังนี้ สี (8.07-9.25) รสชาติ (6.40-7.18) กลิ่นหอม (6.98-8.82) และการยอมรับรวม (5.09-6.45) ส่วนของเนื้อพร้อมเปลือกในปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เป็น 6.99-7.19°Brix pH ช่วง 5.74-6.00 ค่า L* 41.37-42.77 และค่า b* 7.60-8.02 มีคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสดังนี้ สี (7.81-8.99) รสชาติ (5.11-6.93) กลิ่นหอม (5.51-7.49) และการยอมรับรวม (5.48-7.44) ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป

1. บทนำ

แคนตาลูป เป็นแตงเทศชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูล *Cucurbitaceae* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo var. cantalupensis* เป็นพืชล้มลุกประเภทไม้เลื้อย ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกันกับแตงไทย แต่ความทนทานต่อการขนส่งได้ดีกว่าแตงไทย ซึ่งเป็นผลไม้ที่สามารถบ่มให้สุกได้ (climateric fruit) โดยปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของแตงที่ดีขึ้นด้วย (Villanueva และคณะ, 2004) คุณค่าทางอาหารของแคนตาลูปต่อ 100 กรัม ของส่วนที่รับประทานได้ มีดังนี้ ความชื้น 91.2 กรัม พลังงาน 30.0 แคลอรี 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 มิลลิกรัม ไนอะซิน 0.60 มิลลิกรัม และ วิตามินซี 33.0 มิลลิกรัม (กรมวิทยุ คำสินิล, 2537) แคนตาลูปที่รู้จักกันมีหลากหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ซันเลดี้ วินัส ฮันนี่ดีว และ ฮันนี่เวลด์ งานวิจัยนี้เลือกพันธุ์ซันเลดี้ (Sun lady)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำลักษณะเด่นของแคนตาลูปทั้งกลิ่นรส สี และใยอาหาร มาใช้ประโยชน์แนวหนึ่งที่น่าสนใจ ในการเพิ่มมูลค่าแก่แคนตาลูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยเทคนิคการใช้เอนไซม์ เพคตินเนส เซลลูเลส และ เฮมิเซลลูเลส ในการสกัด ได้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย กลิ่นรส สีส้มของแคนตาลูปสด และสารพรีไบโอติกที่ละลายได้สามารถนำมาใช้เป็นสารปรุงแต่งเพื่อทดแทนการใช้วัตถุปรุงแต่งอาหารสังเคราะห์ รวมทั้งเพิ่มมูลค่าให้กับผลแคนตาลูปที่สูงงอม หรือ ผลสุกเกินไป

2. วิธีการทดลอง

คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้สำหรับเป็นวัตถุดิบ

นำแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้จากแหล่งเพาะปลูกที่มีอายุการเก็บเกี่ยวหลังจากดอกบาน ประมาณ 45 วัน มาบ่มที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 2 องศาเซลเซียส บ่มเป็น 5 ระดับ ระดับที่ 1 (ไม่บ่ม 0 วัน) ระดับที่ 2 (บ่ม 2 วัน) ระดับที่ 3 (บ่ม 4 วัน) ระดับที่ 4 (บ่ม 6 วัน) และระดับที่ 5 (บ่ม 8 วัน) จานสุกอมโดยแยกวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ เนื้อพร้อมเปลือก และ กากใยติดกับเมล็ด เพื่อหาระดับความสุกที่ทำให้แคนตาลูปมี Total soluble solid (TSS) สูงที่สุดเป็นเกณฑ์ ด้วย hand refractometer 0-32 (Villanueva และคณะ, 2004), วัด pH (5-6) ด้วย pH meter, วัดการเปลี่ยนแปลงของสีด้วย Hunterlab colorimeter ในระบบ Lab โดยใช้ Minota รุ่น CR 300 และนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี รสชาติ กลิ่น (กลิ่นหอมของแคนตาลูป กลิ่นแปลกปลอม) และการยอมรับรวม Quantitative descriptive analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบซึ่งผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน วางแผนการทดลองแบบ Randomized

Completely Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) Duncan's New Multiple Range test

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมของแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศสำหรับเป็นวัตถุดิบ

จากการทดลองพบว่า ระดับของการบ่มแคนตาลูปทั้ง 5 ระดับคือ บ่ม 0 2 4 6 และ 8 วัน มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ที่เพิ่มขึ้น และลดลงในช่วงการบ่มระยะสุดท้าย (บ่ม 8 วัน) เนื่องจากแคนตาลูปเมื่อสุกเต็มที่ (Ripening) มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้แป้งที่สะสมไว้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลมากขึ้น แต่ถ้าเก็บไว้นานขึ้นจนเข้าสู่ช่วงชราภาพ (Senescence) การหายใจลดลง การเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก็ลดลงด้วย ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่เพิ่มขึ้น เป็นตัวชี้ถึงคุณภาพที่ดีของแคนตาลูปด้วย (Villanueva และคณะ, 2004) เมื่อพิจารณาค่า pH ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากแคนตาลูปที่นำมาทดลองเป็นช่วงที่มีการสุกเต็มที่ (Ripening) และนำมาบ่มจนเข้าสู่ช่วงชราภาพ (Senescence) จึงมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับค่าสี L^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนค่า b^* เพิ่มขึ้นเนื่องจากว่าแคนตาลูปที่แก่เต็มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเหลือง ซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นในระหว่างการสุก (Villanueva และคณะ, 2004) ซึ่งการทดลองนี้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ กากใยติดกับเมล็ด และเนื้อพร้อมเปลือกพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่า pH ค่า L^* c และ b^* มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 26 และ 27

จากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า ระดับของการบ่มแคนตาลูปมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี รสชาติ กลิ่นหอมของแคนตาลูป กลิ่นผิดปกติ และการยอมรับรวม โดยระดับการบ่มที่ 6 วันมี สี รสชาติ กลิ่นหอมของแคนตาลูป และการยอมรับรวม ได้รับคะแนนสูงที่สุด ส่วนกลิ่นผิดปกติ คะแนนน้อยที่สุด และแตกต่างจากระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก ค่าสี มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า b^* รสชาติมีแนวโน้มเดียวกับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ส่วน กลิ่นหอมของแคนตาลูปจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงการสุกจนถึงช่วงการชราภาพซึ่งอาจเกิดการเน่าเสียส่งผลให้กลิ่นผิดปกติสูงขึ้น (Fallik และคณะ 2001) สำหรับทั้งในตัวอย่างของกากใยติดกับเมล็ด และเนื้อพร้อมเปลือก

ดังตารางที่ 28 และ 29 ตามลำดับ จากเหตุผลข้างต้นส่งผลให้เลือกระดับนี้เป็นวัตถุประสงค์นำไปวิเคราะห์การทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 26 องค์ประกอบทางกายภาพของกากใยติดกับเมล็ดของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ

ระดับการบ่ม(วัน)	Total soluble solid (°Brix)	pH ^{ns}	สี	
			L* ^{ns}	b*
0	7.06 ^c ± 0.12	6.74 ± 0.01	43.79 ± 0.26	11.52 ^d ± 0.28
2	8.21 ^b ± 0.26	6.76 ± 0.10	44.02 ± 0.50	12.15 ^c ± 0.14
4	8.11 ^b ± 0.10	6.80 ± 0.10	44.36 ± 0.41	13.93 ^b ± 0.36
6	9.13 ^a ± 0.23	6.80 ± 0.10	44.12 ± 0.42	15.17 ^a ± 0.45
8	8.20 ^b ± 0.20	6.72 ± 0.10	44.01 ± 0.90	14.30 ^b ± 0.20

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 27 องค์ประกอบทางกายภาพของเนื้อพร้อมเปลือกของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ

ระดับการบ่ม(วัน)	Total soluble solid (°Brix)	pH ^{ns}	สี	
			L* ^{ns}	b*
0	5.22 ^d ± 0.17	5.93 ± 0.24	42.67 ± 0.58	5.40 ^d ± 0.48
2	5.71 ^c ± 0.10	5.73 ± 0.18	42.63 ± 0.35	5.69 ^c ± 0.18
4	6.38 ^b ± 0.17	5.73 ± 0.04	42.33 ± 0.76	6.15 ^c ± 0.12
6	7.09 ^a ± 0.10	5.87 ± 0.13	42.07 ± 0.70	7.81 ^a ± 0.21
8	6.29 ^b ± 0.25	5.77 ± 0.21	42.41 ± 0.31	7.23 ^b ± 0.21

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 28 คะแนนการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของ
กากไยติดกับเมล็ดของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ

ระดับ การบ่ม(วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สี	รสชาติ	กลิ่นหอมของแคนตาลูป	กลิ่นผิดปกติ	การยอมรับรวม
0	5.53 ^d \pm 0.55	3.08 ^d \pm 0.56	4.92 ^d \pm 0.77	1.98 ^a \pm 0.60	3.43 ^c \pm 0.76
2	6.81 ^c \pm 0.66	4.70 ^c \pm 0.53	4.96 ^d \pm 0.82	1.66 ^{ab} \pm 0.68	4.94 ^b \pm 0.98
4	8.08 ^b \pm 0.81	4.90 ^c \pm 0.62	5.95 ^c \pm 0.84	1.83 ^{ab} \pm 0.54	4.90 ^b \pm 0.94
6	8.66 ^a \pm 0.59	6.79 ^a \pm 0.39	7.90 ^a \pm 0.92	1.26 ^b \pm 0.83	5.77 ^a \pm 0.68
8	6.47 ^c \pm 0.53	5.60 ^b \pm 0.80	6.69 ^b \pm 0.79	1.77 ^{ab} \pm 0.57	3.73 ^c \pm 0.99

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 29 คะแนนการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของ
เนื้อพร้อมเปลือกของแคนตาลูปจากการบ่มทั้ง 5 ระดับ

ระดับ การบ่ม(วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สี	รสชาติ	กลิ่นหอมของแคนตาลูป	กลิ่นผิดปกติ	การยอมรับรวม
0	5.72 ^d \pm 0.52	2.76 ^c \pm 0.90	5.32 ^b \pm 0.59	1.36 ^b \pm 0.72	2.81 ^c \pm 0.59
2	6.55 ^c \pm 0.74	4.72 ^b \pm 0.90	4.29 ^c \pm 0.71	1.49 ^b \pm 0.81	4.74 ^b \pm 0.65
4	7.30 ^b \pm 0.74	5.22 ^b \pm 0.64	4.31 ^c \pm 0.76	1.43 ^b \pm 0.93	5.81 ^a \pm 0.75
6	8.40 ^a \pm 0.59	6.02 ^a \pm 0.91	6.50 ^a \pm 0.99	1.18 ^b \pm 0.81	6.46 ^a \pm 0.98
8	7.37 ^b \pm 0.61	4.56 ^b \pm 0.87	5.03 ^b \pm 0.72	2.09 ^a \pm 0.61	1.74 ^d \pm 0.96

หมายเหตุ : ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. สรุปผลการทดลอง

แคนตาลูปที่มีระดับการบ่ม 6 วัน มีองค์ประกอบทางกายภาพ และ คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด ทั้งด้าน สี รสชาติ กลิ่นหอมของแคนตาลูป และการยอมรับรวม ส่วนของกากใยติดกับเมล็ด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เป็น 8.9-9.36 °Brix pH ช่วง 6.7-6.9 ค่า L* 43.70-44.54 และค่า b* 14.72-15.62 มีคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสดังนี้ สี (8.07-9.25) รสชาติ (6.40-7.18) กลิ่นหอม (6.98-8.82) และการยอมรับรวม (5.09-6.45) ส่วนของเนื้อพร้อมเปลือกใน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เป็น 6.99-7.19°Brix pH ช่วง 5.74-6.00 ค่า L* 41.37-42.77 และค่า b* 7.60-8.02 มีคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสดังนี้ สี (7.81-8.99) รสชาติ (5.11-6.93) กลิ่นหอม (5.51-7.49) และการยอมรับรวม (5.48-7.44) ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารหน้าที่เฉพาะจากแคนตาลูป

5. เอกสารอ้างอิง

- กมลทิพย์ คำสินิล. 2537. การผลิตน้ำแตงไทย(Cucumis melo Linn. var. acidulus) โดยเอนไซม์
ตรังรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รวินันท์ บวรสันติสุทธิ์, รักชนก วิริยะนิกรรณ์ และ รุ่งทิวา รองสวัสดิ์. 2544. ผลของการลวกต่อ
ปริมาณ เบต้าแคโรทีนในผักชนิดต่างๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะ
 วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิมลศรี สิริพัฒนากุล. 2544. การเปลี่ยนแปลงสีปริมาณบีต้าแคโรทีนและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดใน
ระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาน้ำมะม่วงพันธุ์สามปี. วิทยานิพนธ์ปริญญา
 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- 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 muskmelon (*Cucumis melo*, cv reticular Naud.) spheres. Journal of Food Engineering 49: 261-264.
- 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: 179-185.

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย).....รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อานเป็รื่อง.....
(ภาษาอังกฤษ).....Associate Professor Dr. Pranee Anprung.....

สถานภาพ 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..ซอยสินธร 7..ถนนสินธร...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 Tokyo Inst of Tech. Applied Biochem	2521 (UNESCO)	

5. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัย

ชื่อ	ปริญญาตรี	ปริญญาโท	ปริญญาเอก
นางสาวปรรัตน์ เชนกลาง	สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยี ทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี	ภาควิชาเทคโนโลยีการ อาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นางสาวสมฤดี ไทพานิชย์	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวสวาวี ถ้วยทอง	สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยี ทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวสุวิมล เจริญสิทธิ์	สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวชมัพร แรงกลาง	สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยี ทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-

ชื่อ	ปริญญาตรี	ปริญญาโท	ปริญญาเอก
นางสาวเกวลี ครุณาสวัสดิ์	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวกรรณิการ์ สอนโยธา	ภาควิชาจุลชีววิทยา สาขาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-
นางสาวนันทพร วุฒิสิริ	สาขาเทคโนโลยีทาง อาหาร สำนักวิชา เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	ภาควิชาเทคโนโลยีทาง อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย