ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249580

การใช้เอนไซม์สกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศเหลือทิ้ง และผงใยอาหารละลายน้ำซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้

ENZYMATIC EXTRACTION OF LYCOPENE FROM TOMATO WASTE AND SOLUBLE FIBER POWDER AS ITS BY PRODUCT

นางสาวกัญญรัตน์ กัญญาคำ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2554

b00253997

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

249580

การใช้เอนไซม์สกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศเหลือทิ้ง และผงใยอาหารละลายน้ำซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้

ENZYMATIC EXTRACTION OF LYCOPENE FROM TOMATO WASTE AND SOLUBLE FIBER POWDER AS ITS BYPRODUCT

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นางสาวกัญญ์รัตน์ กัญญาคำ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

การสกัดไลโคปีนด้วยเอนไซม์จากกากมะเขือเทศเหลือทิ้ง
และผงใยอาหารละลายน้ำซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้

นางสาวกัญญรัตน์ กัญญาคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2554

ENZYMATIC EXTRACTION OF LYCOPENE FROM TOMATO WASTE AND SOLUBLE FIBER POWDER AS ITS BY PRODUCT

MISS KANYARAT KANYAKAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

IN FOOD TECHNOLOGY

GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY

2011

ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การสกัดไลโคปีนด้วยเอนไซม์จากกากมะเขือเทศเหลือทิ้ง และผงใยอาหารละลายน้ำซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ : นางสาวกัญญรัตน์ กัญญาคำ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. รัชฎา ตั้งวงค์ไชย	ประธานกรรมการ
	ผศ.ดร. จันทนี อุริยะพงศ์สรรค์	กรรมการ
	ผศ.ดร. อารยา อารมณ์ฤทธิ์	กรรมการ
	ผศ.ดร. อนุชิตา มุ่งงาม	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ :

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทนี อุริยะพงศ์สรรค์)

....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมาตย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกษม นันทชัย)
คณบดี คณะเทคโนโลยี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

กัญญรัตน์ กัญญาคำ. 2554. **การใช้เอนไซม์สกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศเหลือทิ้งและผงใยอาหารละลายน้ำซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทนี อุริยะพงศ์สรรค์

บทคัดย่อ

249580

ศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้นของโรงงานอุตสาหกรรม และกากมะเขือเทศที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ (ใช้มะเขือเทศสดจากตลาดท้องถิ่น) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า ใยอาหาร และปริมาณไลโคปีน พบว่าผงกากมะเขือเทศอบแห้งที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ (TPL) มีปริมาณไลโคปีนและค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) แต่มีปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า และใยอาหารรวม ไม่แตกต่างกับกากมะเขือเทศสดและผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากของโรงงาน (TPI) ($p > 0.05$) และจากการศึกษาการสกัดไลโคปีนจากผงมะเขือเทศ TPI โดยเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด (Enz A และ Enz B ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์เพคติเนส, เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส) โดยศึกษาระยะเวลาในการย่อยด้วยเอนไซม์ 5 ระดับ (30 40 50 60 และ 90 นาที) และการสกัดร่วมกับสารทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด (เอทิลอะซีเตต เอทานอล และไดเอทิลอีเทอร์) พบว่าการใช้เอนไซม์ Enz A ที่ระยะเวลาการย่อย 50 นาที ร่วมกับเอทิลอะซีเตต ได้ปริมาณผลผลิตไลโคปีนสูงที่สุด โดยการสกัดไลโคปีนจากผงมะเขือเทศ TPI ได้ไลโคปีน 50.3 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 142.27 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไลโคปีนที่ได้จากการสกัดโดยวิธีดั้งเดิม (20.8 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) และการสกัดไลโคปีนจากผงกากมะเขือเทศ TPL ให้ผลผลิตสูงที่สุด (80.2 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) มีสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (วิเคราะห์โดยวิธี ABTS assay และ Reducing power)

ส่วนการศึกษาการเตรียมผงไลโคปีนโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง (freeze drying) จากผงกากมะเขือเทศ TPI พบว่าผงไลโคปีนที่ได้มีค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) 0.334-0.394 ผงไลโคปีนจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง มีปริมาณไลโคปีน (50.84 ไมโครกรัม/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (0.134 มก.กรดแกลลิก/กรัมผงไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้ง) มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์โดยวิธี reducing power (4.46 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีน

249580

โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าผงการทำแห้งแบบพ่นฝอย (29.65 ไมโครกรัม/กรัมผงไลโคปีน, 0.082 มก.กรดแกลลิก/กรัมผงไลโคปีน และ 2.33 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผลิตจากการแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°ซ และ 5 °ซ และไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณไลโคปีนสกัดชนิดผง ซึ่งเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ค่ากิจกรรมของน้ำและค่าความสว่าง (L*) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดง (a*) ลดลง แต่ความคงตัวด้านปริมาณไลโคปีน กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของไลโคปีนสกัดชนิดผงสูงกว่าชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ นอกจากนี้ยังศึกษาการเตรียมผงใยอาหารละลายน้ำจากกากมะเขือเทศทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผงมะเขือเทศ TPL และ TPI ให้ปริมาณผลผลิตผงใยอาหารละลายน้ำสูงกว่า (ร้อยละ 5.86 และ 5.21 ตามลำดับ) จากการเตรียมกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน (ร้อยละ 3.33) แต่ปริมาณของใยอาหารละลายน้ำในผงที่เตรียมได้ (ร้อยละ 41.48 - 42.20) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

Kanyarat Kanyakam. 2011. **Enzymatic Extraction of Lycopene from Tomato waste and Soluble Fiber Powder as its Byproduct**. Master of Science Thesis in Food Technology, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Assistant Professor Dr. Juntanee Uriyapongson

ABSTRACT

249580

Tomato powder obtained from an industrial tomato paste waste and laboratory production (fresh tomato from local market) was compared in terms of composition and for lycopene extraction optimization. Analysis of fat, protein, ash, dietary fiber, lycopene content and color was performed for all samples. Tomato powder from the laboratory waste (TPL) was higher in lycopene content and red color value (a*) ($p \leq 0.05$) but had similar content of fat, protein, ash and soluble dietary fiber compared to tomato powder obtained from the industrial waste (TPI). Lycopene extractions of TPI was investigated using two types of mixed commercial enzyme (Enz A and Enz B, composed of pectinase, cellulase and hemicellulase), 5 incubation times (30, 40, 50, 60 and 90 min) and three solvents (ethyl acetate, ethanol and diethyl ether). The highest lycopene yield was obtained with Enz A at 50 min incubation time with ethyl acetate. Lycopene yield from TPI using this method (50.3 mg/100 g sample dw) increased 142.27% compared to conventional method (20.8 mg/100 g sample dw). The highest lycopene yield was obtained from TPL (80.2 mg/100 g sample dw) and the extract contained highest phenolic content, and antioxidant activity measured by ABTS assay and reducing power methods.

The preparation of lycopene powder using spray drying and freeze drying methods showed that lycopene powder had water activity (Aw) of 0.334-0.394. Freeze drying method provided powder with higher amount of lycopene content (50.84 μg/g powder dw), phenolic content (0.134 mg gallic acid/g powder dw) and antioxidant activity measured using reducing power method (4.46 μmole trolox/g powder dw) compared to lycopene from the spray drying method (29.65 μg/g powder, 0.082 mg gallic acid/g powder, and 2.33 μmole trolox/g powder, respectively). The changes during storage for 3 months at room temperature (30°C) and 5°C of lycopene powder obtained from freeze drying method and of liquid lycopene extract at -18°C were studied. The results showed that storage temperature and storage time affected lycopene

249580

content of lycopene powder. Water activity and brightness (L*) of the lycopene powder increased with increasing storage time but red color (a*) decreased. The stability of lycopene extract in powder form was higher than liquid form with the storage at -18°C in terms of lycopene content, antioxidant activity and phenolic content. Preparation of soluble fiber powder was studied using the tomato waste powders. TPL and TPI provided higher yield of soluble fiber powder (5.86 and 5.21%) compared to those prepared from wet industrial tomato paste waste (3.33%); however, there was no significant difference ($p>0.05$) in soluble dietary fiber content in all the extract powder samples (41.48 - 42.20%).

งานวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบส่วนดีให้แก่บุพการี คณาจารย์ ญาติสนิท มิตรสหาย
และผู้มีอุปการคุณทุกท่าน

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะความกรุณาอย่างยิ่ง และต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. จันทนี อุริยะพงศ์สรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำทางวิชาการ ตลอดจนตรวจทานแก้ไข แนะนำเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. รัชฎา ตั้งวงค์ไชย ผศ.ดร. อารยา อารมณ์ฤทธิ์ และ ผศ.ดร. อนุชิตา มุ่งงาม ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อชี้แนะในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ เติมเต็มให้วิทยานิพนธ์ฉบับบนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์อันมีค่า รวมถึงความเมตตาและกำลังใจที่มีต่อศิษย์มาโดยตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ นักศึกษาปริญญาโทและเอก ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการศึกษาครั้งนี้จนประสบผลสำเร็จ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่ง จากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการและศูนย์วิจัยเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตรเพื่อเศรษฐกิจที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. พิศาล ศิริธร ผู้ประสานงานศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยร่วม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาประสานงานเงินทุนตลอดทั้งโครงการ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้โอกาสด้านการศึกษามาโดยตลอด ให้กำลังใจเมื่อร่างกายและจิตใจอ่อนล้า ตลอดจนความรักที่มีให้อย่างไม่มีวันหมด

กัญญรัตน์ กัญญาคำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
คำอุทิศ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์	2
3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1. ลักษณะทั่วไปของมะเขือเทศ	4
2. ไลโคปีน	10
3. การสกัดสารไลโคปีนจากมะเขือเทศ	13
4. การทำแห้ง (drying)	19
5. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน	22
6. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	29
1. วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
2. วิธีการวิจัย	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	45
1. การศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของกากมะเขือเทศ	45
2. การศึกษาสภาวะการสกัดโดยใช้สารทำละลายอินทรีย์ร่วมกับเอนไซม์ต่อปริมาณไลโคปีน	50
3. การศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดไลโคปีน	55

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	4. การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อปริมาณไลโคปีน	57
	5. การเปลี่ยนแปลงของไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวขณะเก็บรักษา	59
	6. การศึกษาการสกัดใยอาหารชนิดละลายน้ำ	68
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง		73
ภาคผนวก		79
	ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	80
	ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สารไลโคปีน	88
	ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติ	94

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในมะเขือเทศสุก มะเขือเทศเข้มข้นและส่วนต่างๆ มะเขือเทศเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเข้มข้น	8
ตารางที่ 2	องค์ประกอบทางเคมีของกากมะเขือเทศ	8
ตารางที่ 3	ค่าความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารไลโคปีนในรูป *trans* ในสารทำละลายอินทรีย์ต่างๆ	11
ตารางที่ 4	การเปรียบเทียบการสกัดด้วยสารทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆในน้ำมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศกระป๋อง	14
ตารางที่ 5	ปริมาณไลโคปีนในน้ำมะเขือเทศที่สกัดด้วยสารทำละลายชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 6	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนโดยวิธีทางสเปคโตรสโคปีและ โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	25
ตารางที่ 7	ปริมาณร้อยละความชื้น โปรตีน เถ้า และไขมัน ในกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ	46
ตารางที่ 8	ปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำ (Soluble fiber) ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ (Insoluble fiber) และใยอาหารรวม (Total dietary fiber)	47
ตารางที่ 9	ค่าสีในกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	48
ตารางที่ 10	ปริมาณไลโคปีนในกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศจากกากโรงงานและผงมะเขือเทศจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	49
ตารางที่ 11	ผลของชนิดเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยด้วยเอนไซม์ต่อปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	51
ตารางที่ 12	ปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน โดยการใช้เอนไซม์และสารทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ	52
ตารางที่ 13	ปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ โดยใช้ Enz A ร่วมกับเอทิลอะซีเตต	53
ตารางที่ 14	ผลผลิตการสกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเอนไซม์ (Enz A)	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 15	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ สกัดโดยใช้ Enz A ร่วมกับเอทิลอะซีเตต	56
ตารางที่ 16	ค่ากิจกรรมของน้ำ (Aw) และปริมาณไลโคปีนของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน	58
ตารางที่ 17	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้จากการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน	59
ตารางที่ 18	ค่าเฉลี่ยของค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 30 °ซ	60
ตารางที่ 19	ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง(a*) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	61
ตารางที่ 20	ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	61
ตารางที่ 21	ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และปริมาณไลโคปีนของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	62
ตารางที่ 22	ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีนในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	62
ตารางที่ 23	ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing power ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้จากการแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	64
ตารางที่ 24	ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงไลโคปีนสกัดที่ได้จากการแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	65
ตารางที่ 25	ผลผลิต (yield) ของผงใยอาหารละลายน้ำและปริมาณร้อยละใยอาหารละลายน้ำ ที่สกัดจากกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เอนไซม์ Enz A	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 26	เปรียบเทียบการคำนวณปริมาณไลโคปีน โดยการเทียบกับกราฟความเข้มข้นของสารมาตรฐานไลโคปีนและการใช้ค่าคงที่การดูดกลืนแสง (molar extinction coefficient; ε) ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร	91
ตารางที่ 27	เปรียบเทียบการวัดปริมาณไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 503 และ 475 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยการใช้วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานไลโคปีน	92
ตารางที่ 28	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นในกากมะเขือเทศสดจากโรงงานผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	95
ตารางที่ 29	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันในกากมะเขือเทศสดจากโรงงานผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	95
ตารางที่ 30	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนในกากมะเขือเทศสดจากโรงงานผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	95
ตารางที่ 31	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเถ้าในกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	96
ตารางที่ 32	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารไม่ละลายน้ำในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	96
ตารางที่ 33	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารละลายน้ำในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารรวมในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้ง จากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ 97

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L*) ในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ 97

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a*) ในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ 97

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b*) ในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ 98

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า hue (h*) ในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ 98

ตารางที่ 39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไลโคปีนในกากมะเขือเทศสดจากกากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ 98

ตารางที่ 40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงานโดยการใช้เอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเอนไซม์ต่างๆ 99

ตารางที่ 41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงานโดยการใช้เอนไซม์และสารทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ 99

ตารางที่ 42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไลโคปีนที่สกัดโดยใช้ Enz A ร่วมกับสารทำละลายอินทรีย์เอทิลอะซีเตตในกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ และวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนด้วยวิธี HPLC 99

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 43 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไลโคปีนที่สกัดโดยใช้ Enz A ร่วมกับสารทำละลายอินทรีย์เอทิลอะซีเตตในกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ และวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ 100

ตารางที่ 44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS assay ของสารสกัดจากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ 100

ตารางที่ 45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Reducing power ของสารสกัดจากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ 100

ตารางที่ 46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆสกัดโดยใช้ Enz A ร่วมกับเอทิลอะซีเตต 101

ตารางที่ 47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน 101

ตารางที่ 48 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไลโคปีนของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน 101

ตารางที่ 49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS assay ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน 102

ตารางที่ 50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Reducing power ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน 102

ตารางที่ 51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน 102

ตารางที่ 52 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) ในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 103

ตารางที่ 53 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 103

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) ในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 104

ตารางที่ 55 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b*) ในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 104

ตารางที่ 56 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีนในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 105

ตารางที่ 57 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS assay ในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 105

ตารางที่ 58 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Reducing power ในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 106

ตารางที่ 59 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งต่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ 106

ตารางที่ 60 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (yield) ของผงใยอาหารละลายน้ำที่สกัดด้วยเอนไซม์ Enz A จากกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ 107

ตารางที่ 61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณร้อยละใยละลายน้ำในผงใยอาหารละลายน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบของผงที่สกัดด้วยเอนไซม์ Enz A ที่เตรียมได้จากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ 107

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 62	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการคำนวณปริมาณไลโคปีนโดยการเทียบกับกราฟความเข้มข้นของสารมาตรฐานไลโคปีนและการใช้ค่าคงที่การดูดกลืนแสง (ε) ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร ในผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	107
ตารางที่ 63	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการคำนวณปริมาณไลโคปีนโดยการเทียบกับกราฟความเข้มข้นของสารมาตรฐานไลโคปีนและการใช้ค่าคงที่การดูดกลืนแสง (ε) ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร ในผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	108
ตารางที่ 64	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวัดปริมาณไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 503 และ 475 นาโนเมตร ในผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	108
ตารางที่ 65	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวัดปริมาณไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 503 และ 475 นาโนเมตร ในผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	108

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	โครงสร้างของผลมะเขือเทศ	5
ภาพที่ 2	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	6
ภาพที่ 3	โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	6
ภาพที่ 4	โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบเพคติน	7
ภาพที่ 5	โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีนในรูป *trans*	10
ภาพที่ 6	แผนภาพแสดงส่วนประกอบเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	22
ภาพที่ 7	แผนผังเครื่องมือโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)	24
ภาพที่ 8	การสกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศ	35
ภาพที่ 9	กระบวนการคัดเลือกเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยของเอนไซม์	37
ภาพที่ 10	กระบวนการผลิตผงใยอาหารละลายน้ำ	43
ภาพที่ 11	แผนผังสรุปวิธีการทดลองโดยภาพรวม	44
ภาพที่ 12	ไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งและวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย	57
ภาพที่ 13	ปริมาณไลโคปีนที่มีอยู่ในไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน	66
ภาพที่ 14	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี ABTS ของไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน	66
ภาพที่ 15	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี Reducing power ของไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน	67
ภาพที่ 16	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน	67
ภาพที่ 17	การวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยการเปรียบเทียบค่า Retention Time (RT) ของสารสกัดตัวอย่างกับสารมาตรฐานไลโคปีนที่ได้จากโครมาโทแกรมของเครื่อง HPLC	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 18	กราฟสารมาตรฐานไลโคปีนวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร	91
ภาพที่ 19	กราฟสารมาตรฐานไลโคปีนวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร	92