



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู

Production of Natural Food Colorant from Gac Aril

โดย

หยาดฝน ทนงการกิจ และ พูนพัฒน์ พูนน้อย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2557

รหัสโครงการวิจัย มจ.1-56-077

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
ขอบเขตของงานวิจัย	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	16
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	22
สรุปผลวิจัย	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก.	35

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนในเนื้อผลและเมล็ดฟักข้าว
ตารางที่ 2	แสดงผลขององค์ประกอบของกาบใบนอกของเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว
ตารางที่ 3	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ได้ของเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการต่างๆ
ตารางที่ 4	เบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการต่างๆ
ตารางที่ 5	สีของเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการต่างๆ
ตารางที่ 6	ความชื้นของเชื้อหุ้มฟักข้าวก่อนและหลังการอบแห้ง
ตารางที่ 7	ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนของเชื้อหุ้มฟักข้าวหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ
ตารางที่ 8	สีของเชื้อหุ้มฟักข้าวหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ
ตารางที่ 9	ค่าสีของแป้งมันและวุ้นที่ใช้ผสมอาหารจากฟักข้าวและสีผสมอาหารสังเคราะห์

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1	ลักษณะต้นพริกขี้
ภาพที่ 2	ผลพริกขี้
ภาพที่ 3	โครงสร้างของ (ก) เบต้าแคโรทีน (ข) ไลโคปีน
ภาพที่ 4	ขั้นตอนการผลิตผงพริกขี้
ภาพที่ 5	อัตราส่วนความชื้นของเชื้อหุ้มพริกขี้ที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธี (ก) การคั้น (ข) การอบแห้งบางส่วน (ค) การใช้เอนไซม์
ภาพที่ 6	แป้งมันที่ผ่านการผสมสีอาหารสังเคราะห์และสีผสมอาหารจากเชื้อหุ้ม เมล็ดพริกขี้
ภาพที่ 7	วุ้นที่ผ่านการผสมสีอาหารสังเคราะห์และสีผสมอาหารจากเชื้อหุ้ม เมล็ดพริกขี้
ภาพที่ 8	ผลพริกขี้ที่ผ่านการผ่าครึ่ง
ภาพที่ 9	เมล็ดพริกขี้
ภาพที่ 10	การคั้นเมล็ดเมล็ดพริกขี้

การผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว

Production of Natural Food Colorant from Gac Aril

หยาดฝน ทนงการกิจ¹ และ พูนพัฒน์ พูนน้อย¹

Yardfon Tanongkankit¹ and Poonpat Poonnoi¹

¹คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

เยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติ เนื่องจากมีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนซึ่งเป็นสารที่มีสีส้มแดงอยู่ปริมาณสูง แต่อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติอาจทำให้เกิดการสูญเสียสารทั้งสองและสีในเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติซึ่งได้แก่ ขั้นตอนการเอาเมล็ดออก (การใช้มือ การอบแห้งบางส่วนและการใช้เอนไซม์) และการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของเบต้าแคโรทีน ไลโคปีนและสีในเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว โดยผลการศึกษาพบว่าการใช้เอนไซม์ช่วยในการเอาเมล็ดออกทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวมากกว่าวิธีการใช้มือและการอบแห้งบางส่วน และขั้นตอนของการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือและการใช้เอนไซม์มีปริมาณเบต้าแคโรทีน ไลโคปีนมากกว่าการอบแห้งบางส่วน ในขณะที่สีของเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวที่ผ่านกระบวนการเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าทั้งเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนมีปริมาณน้อยลงหลังจากการอบแห้ง โดยเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนลดลงมากขึ้น แต่อุณหภูมิการอบแห้งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้งหมดที่ได้ การเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้เอนไซม์และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนสูงสุด

คำสำคัญ: การเอาเมล็ดออก เบต้าแคโรทีน ไลโคปีน สี อบแห้ง

Abstract

Gac aril has been reported to be a potential raw material for production of food colorant since it contains significant amounts of β -carotene and lycopene that are responsible for a yellow red color. However, processing steps for a food colorant production may cause losses of those compounds and color in Gac aril. This study was aimed to investigate the effect of processing steps including removing seed method (manual seed removal, partial drying and enzyme treatment) and drying on the changes of β -carotene, lycopene as well as color in Gac aril. The results illustrated that enzyme treatment for removing seed resulted in higher percentage of Gac aril yield than manual seed removal and partial drying method. Manual seed removal and enzyme treatment exhibited higher β -carotene and lycopene than partial drying method. All removing seed methods did not have any significant effect on changes of color in Gac aril. Moreover it was observed that both β -carotene and lycopene significantly degraded during drying. Higher drying temperature made higher degradation rate of β -carotene and lycopene. However, the drying temperature did not significantly affect the color of dried samples. Overall, enzyme treatment for removing seed and hot air drying at 60°C of Gac aril was recommended for producing natural food colorant by providing the highest percentage of Gac aril yield, retention of β -carotene and lycopene.

Keywords: β -carotene, Color, Drying, Lycopene, Removing seed

คำนำ

สีของอาหารเป็นลักษณะทางกายภาพประการแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการเลือกและยอมรับอาหารนั้นๆ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สัมผัสได้ด้วยตา ก่อนจะรับรู้ถึงลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติของอาหาร สีของอาหารนอกจากจะมีประโยชน์เพื่อดึงดูดผู้บริโภคแล้วยังเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของอาหารได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้เองทำให้ผู้ผลิตและแปรรูปอาหารจึงพยายามทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสวยงามและสม่ำเสมอด้วยการเติมสีลงไป (สมเดือนและสุวิมล, 2538) สีผสมอาหารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่เป็นสีผสมอาหารสังเคราะห์เนื่องจากมีราคาถูกและให้ความสม่ำเสมอของสีที่ดี แต่ผลที่ตามมาจากการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์นั้นก่อให้เกิดผลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาวได้ ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะลดการใช้สีสังเคราะห์คือการกลับมาใช้สีผสมอาหารจากธรรมชาติที่หาได้ง่ายตามท้องถิ่นซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อทั้งสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ การผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติสามารถผลิตได้จากทั้งพืชและสัตว์ ยกตัวอย่างเช่น สีผสมอาหารสีเขียวผลิตได้จากใบเตย ใบย่านางและใบตะไคร้ สีม่วงแดงได้จากหัวบีท มะเขือเทศ กระเจี๊ยบและรังครั่ง สีน้ำเงินได้จากดอกอัญชัญ และสีเหลืองได้จากขมิ้นชัน แครอท พักทอง พักข้าว และดอกคำฝอย เป็นต้น

พักข้าว หรือ Gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng) เป็นผักพื้นบ้านที่มีมานานในชนบททั่วทุกภาคของประเทศไทยและมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ละท้องถิ่น เช่น จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดตากเรียกพักข้าว จังหวัดแพร่เรียกมะข้าว จังหวัดปัตตานีเรียกขี้กาเครือ และจังหวัดในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกพักข้าว เป็นต้น พักข้าวเป็นพืชวงศ์เดียวกับแตงกวาและมะระ เป็นไม้เถาเลื้อย ผลอ่อนมีสีเขียว เปลือกมีหนามและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส้ม แดง เมื่อผลสุกตามลำดับ (รัตนพงษ์, 2554) ตั้งแต่อดีตมีการนำใบอ่อน ยอดอ่อนและผลอ่อนของพักข้าวไปประกอบอาหาร เช่น แกงส้ม แกงเลียงหรือนำไปนึ่งหรือลวกให้สุกเพื่อรับประทานร่วมกับน้ำพริก (ดวงจันทร์, 2552 และ รัตนพงษ์, 2554) และในปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงานที่พบว่าในเชื้อหุ้มเมล็ดที่มีสีแดงของพักข้าวมีสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิดเช่น กรดไขมันจำเป็นที่มีส่วนช่วยทำให้ร่างกายทำงานได้ปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ได้แก่ ไลโคปีนซึ่งมีปริมาณมากกว่ามะเขือเทศ 12 เท่าและเบต้าแคโรทีนมีปริมาณมากกว่าแครอทถึง 10 เท่า (ประภัสสร, 2554; Tran, 2007) ซึ่งสารกลุ่มแคโรทีนอยด์นี้เองที่ทำให้พักข้าวมีสีส้มแดง

แคโรทีนอยด์เป็นสารรงควัตถุสีเหลืองแดง สามารถละลายในไขมันได้ ประกอบไปด้วยคาร์บอน 40 อะตอม มีไฮโดรเจน 8 หน่วยและพันธะคู่ของคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดสี (สมเดือน

และสุวิมล, 2538) แคลโรทีนอยด์มีหลายร้อยชนิดที่สามารถตรวจพบในธรรมชาติ แต่มีเพียง 24 ชนิดที่พบในอาหารเช่น เบต้าแคโรทีน เบต้าคริปโตแซนทีน โลโคปีน ลูเทอีนและ ไวโอลาแซนทีน (Dutta et al., 2005) ในอุตสาหกรรมยาและอาหารสุขภาพนิยมใช้แคลโรทีนอยด์ในการเพิ่มสีให้แก่ผลิตภัณฑ์เนื่องจากสีที่ได้จากแคลโรทีนอยด์มีความคงตัวค่อนข้างสูงและยังมีสารอาหารและสารพฤษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีงานวิจัยทางการแพทย์รายงานว่า แคลโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งปอด มะเร็งกระเพาะอาหารและมะเร็งปากมดลูก เป็นต้น โรคเบาหวานและโรคหัวใจ (Deaming et al., 2005) แคลโรทีนอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยามีราคาสูงถึงประมาณกิโลกรัมละ 5,000-100,000 บาท เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการผลิตเบต้าแคโรทีนโดยวิธีการสังเคราะห์ซึ่งมีราคาที่ถูกลงกว่าเบต้าแคโรทีนที่สกัดจากธรรมชาติ แต่ผู้บริโภคทั่วไปให้ความสนใจและยอมรับเบต้าแคโรทีนที่มาจากธรรมชาติมากกว่า ดังนั้นเพื่อเป็นการ ลดการพึ่งพาจากต่างประเทศจึงได้มีการศึกษาถึงกระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากเบต้าแคโรทีนในวัตถุดิบต่างๆ อย่างหลากหลาย (ประมวล, 2553)

กระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากผักข้าวจะเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นซึ่งได้แก่การล้าง หั่นผลผักข้าว และเอาเมล็ดออกโดยเก็บส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเมล็ดไว้ ซึ่งขั้นตอนนี้ช่วยลดการใช้พลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเป็นกระบวนการต่อไป การเอาเมล็ดออกจะต้องทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดติดไปกับเมล็ดน้อยที่สุด การเอาเมล็ดออกสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการเอาเมล็ดออกด้วยมือ การอบแห้งบางส่วนแล้วเอาเมล็ดออกด้วยมือ การใช้เอนไซม์ช่วยย่อย เป็นต้น จากนั้นนำเอาส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดไปอบแห้งจนความชื้นต่ำกว่า 6.4% ฐานแห้ง ก่อนนำไปบดเป็นผง (Tran, 2008) ซึ่งจะเห็นได้ในระหว่างกระบวนการผลิตวัตถุดิบจะต้องผ่านทั้งกระบวนการทางกลเช่น การบด การหั่น และกระบวนการทางความร้อนเช่น การอบแห้ง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพทางกายภาพและทางโภชนาการของสีผสมอาหารธรรมชาติลดลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพของสีผสมอาหารธรรมชาติลงไว้มากที่สุด

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว
2. เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตสัผสมอาหารจากเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว
3. เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว
4. เพื่อศึกษาความคงตัวและการประยุกต์ใช้สัผสมอาหารจากเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบและคาร์โบไฮเดรตของเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว
2. ศึกษาผลของวิธีการเอาเมล็ดออก ซึ่งได้แก่ การใช้มือ การอบแห้งบางส่วนก่อนการใช้มือและการใช้เอนไซม์เพคตินาส ต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน
3. ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน
4. ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เอาเมล็ดออกด้วยวิธีต่างๆ ที่ อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส
5. ศึกษาการนำสัผสมอาหารจากฟักข้าวไปประยุกต์ใช้ โดยการนำสัผสมอาหารจากฟักข้าวไปย้อมสีเม็ดแป้งมันและวุ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของเบต้าแคโรทีน ไลโคปีนและสีของเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในระหว่างกระบวนการผลิตสัผสมอาหารธรรมชาติจากเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว
2. ได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสัผสมอาหารจากเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

การตรวจเอกสาร

1. สีผสมอาหาร

ปัจจัยที่สำคัญปัจจัยแรกที่จะช่วยดึงดูดให้ผู้บริโภคอยากซื้อสินค้าก็คือ สี ทั้งนี้เนื่องจากสีเป็นปัจจัยแรกที่กระทบประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และเป็นคุณลักษณะที่แสดงคุณภาพของสินค้าต่างๆ ให้ปรากฏแก่ผู้บริโภค สีของอาหารจะเป็นคุณลักษณะที่ช่วยบอกคุณภาพของอาหาร ทั้งอาหารธรรมชาติและอาหารที่ผ่านการแปรรูปแล้ว สำหรับอาหารธรรมชาติ เช่น ผลไม้ เนื้อสัตว์และปลาชนิดต่างๆ สีเป็นปัจจัยบ่งบอกความแก่อ่อน ลักษณะเฉพาะของผักผลไม้ เนื้อสัตว์และปลาชนิดต่างๆ เป็นต้น ส่วนอาหารที่ผ่านการแปรรูปแล้ว สีที่มีอยู่ตามธรรมชาติมักจะมีการเปลี่ยนแปลงผู้ผลิตจึงได้พยายามใช้สีผสมอาหารต่างๆ ซึ่งอาจเป็นสีธรรมชาติหรือสีสังเคราะห์แต่งผลิตภัณฑ์อาหารนั้นให้มีสีใกล้เคียงกับอาหารธรรมชาติ ทั้งนี้เพื่อดึงดูดใจผู้บริโภค (ศิวาพร, 2529)

สีผสมอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Francisco and Octavio, 2003)

1. สีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์หรือสีสังเคราะห์ (certified color หรือ synthetic colorant) เป็นสีที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารเคมี แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ดายส์ (dyes) และเลคส์ (lakes) โดยที่ดายส์เป็นสีสังเคราะห์ที่ละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนเลคส์เป็นสีสังเคราะห์ที่กระจายตัวได้ในน้ำมัน และจะมีความคงตัวต่อแสง ความร้อน และสารเคมีได้ดีกว่าสีประเภทดายส์ ตัวอย่างสีสังเคราะห์ เช่น สีแดง ได้แก่ ปองโซ 4 อาร์ (Ponceau 4 R) คาร์โมอีนหรือ เอโซรูบิน (Carmoisine or Azorubine) และเออร์โรซีน (Erythrosine); สีเหลือง ได้แก่ ทาร์ตราซีน (Tartrazine) ซันเซต เยลโลว์ เอฟ ซี เอฟ (Sunset Yellow FCF) และไรโบฟลาวิน (Riboflavin); สีเขียว ได้แก่ ฟาสต์ กรีน เอฟ ซี เอฟ (Fast Green FCF); สีน้ำเงิน ได้แก่ อินดิโกคาร์มิน หรือ อินดิโกติน (Indigocarmine or Indigotine) และบริลเลียนท์ บลู เอฟ ซี เอฟ (Brilliant Blue FCF)

2. สีอนินทรีย์ คือ สีที่ได้จากสิ่งไม่มีชีวิตในธรรมชาติ เช่น ผงถ่านที่ได้จากการเผาพืช (vegetable charcoal) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) เป็นต้น

3. สีสตามธรรมชาติในอาหาร

สีตามธรรมชาติในอาหารนั้นเป็นผลมาจากสารสีในเนื้อเยื่อพืชทั่วไป สารสีที่สำคัญในพืชแบ่งเป็น 4 พวกใหญ่ ๆ คือ

3.1 สารสีแคโรทีนอยด์ ให้สีเหลืองถึงแดงอมส้ม สามารถละลายได้ในน้ำมัน มีอยู่มากในพืชทั่วไป ใบไม้ที่เป็นสีเขียวก็มีสารสีแคโรทีนอยด์ด้วย แต่สีเขียวของคลอโรฟิลล์จะกลบสีเหลือง เราจะมองเห็นใบไม้เป็นสีเขียวเท่านั้น ผลไม้และผักที่มีสารสีนี้ เช่น มะเขือเทศ มันเทศ แครอท ฟักทอง เป็นต้น สารสีแคโรทีนอยด์ในพืชต่าง ๆ จะมีชื่อต่างกันออกไป เช่น ในมะเขือเทศมีสารสีไลโคพีน ในแครอทมีสารสีแคโรทีน ในข้าวโพดมีสารสีคริปโตแซนทีน ในส้มมีสารสีแซนโทฟิลล์ และในพริกมีสารสีแคพแซนทีน

3.2 สารสีคลอโรฟิลล์ ให้สีเขียว มีอยู่ในพืชสีเขียวทุกชนิดและในผลไม้บางชนิด

3.3 สารสีแอนโทไซยานิน ให้สีแดง ม่วง น้ำเงิน ส่วนมากสามารถละลายได้ในน้ำ ผักและผลไม้ที่มีสารสีนี้ เช่น หัวบีต กระหล่ำปลีสีม่วง ลูกพลัม กระจับปี่ เป็นต้น

3.4 สารสีเฟลโวน ให้สีออกเหลือง มีในพวกผลไม้และผัก และพบอยู่รวมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชที่เป็นสีแดงและเขียวด้วย

2. ฟักข้าว

ฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis* Spreng) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์แตง (Cucurbitaceae) พืชชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน พม่า ลาว บังคลาเทศ มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และสามารถพบได้ในแถบทุกภูมิภาคของประเทศไทย ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดหรือแยกรากปลูก ฟักข้าวเริ่มมีดอกหลังปลูกได้ประมาณ 2-4 เดือน เริ่มผลิติดอก 2 ช่วง คือ เดือนมกราคม-มีนาคม และเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม ในฤดูกาลหนึ่งๆ จะเก็บเกี่ยวผลฟักข้าวได้ 30-60 ผล โดยเก็บผลสุกได้ตั้งแต่เดือนเมษายน-พฤษภาคมและเดือนกันยายน-ธันวาคม หากมีน้ำสมบูรณ์จะออกดอกต่อเนื่องไปตลอดทั้งปี (รัตนพงษ์, 2554) ลักษณะของต้นฟักข้าวเป็นเถาไม้เลื้อย มีมือเกาะยึดไปตามต้นไม้ใหญ่ เถาสีเขียวเข้ม ลักษณะสีเขียวเข้ม เถาอ่อนสีเขียว เถาแก่สีเทา ใบเป็นใบเดี่ยวผิวนั้น เรียงแบบสลับ รูปหัวใจหรือรูปไข่ปลายแหลม โคนใบโค้งมน

และเว้าเข้าหาก้านใบ ขอบใบทั้งสองเว้าเข้าหาเส้นกลางใบ เป็นสามแฉก แผ่นใบเรียบเป็นมันสีเขียวเข้ม ขนาดกว้างยาวเท่ากันประมาณ 6-20 เซนติเมตร (รัตนพงษ์, 2554) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะต้นผักขี้

ส่วนผลผักขี้มีหนามขนาดเล็ก โดยความหนาแน่นของหนาม รูปทรงผลและขนาดของผลจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์และความสมบูรณ์ของผล แต่โดยทั่วไปรูปทรงผลของผักขี้มี 2 ลักษณะคือ ผลยาวมีขนาดยาว 8-15 เซนติเมตร และผลกลมมีขนาดยาว 4-6 เซนติเมตร ผลอ่อนมีสีเขียว มีหนามถี่ และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส้ม แดง เมื่อผลสุกตามลำดับ แต่ละผลจะมีน้ำหนักประมาณ 200-2,000 กรัมต่อผล ส่วนด้านในของผลจะมีเนื้อสีเหลืองและมีเมล็ดที่ห่อหุ้มด้วยเยื่อสีแดงซึ่งจะมีน้ำหนักเยื่อหุ้มเมล็ดประมาณ 40-400 กรัมต่อผลหรือประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักผลสด (พัชริน, 2554; รัตนพงษ์, 2554) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลฟิกข้าว

ฟิกข้าวนับว่าเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะในเยื่อหุ้มเมล็ดฟิกข้าวมีสารพฤษเคมีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะสารในกลุ่มไลโคปีนและสารเบต้าแคโรทีน (Aoki et al., 2002; Tran, 2007) ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็ง เช่น มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งลำไส้ มะเร็งกระเพาะอาหารและโรคหลอดเลือดหัวใจ รวมทั้งยังมีกรดไขมันจำเป็นได้แก่ Omega 6 และ Omega 3 ซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ช่วยทำให้ร่างกายสามารถทำงานได้ตามปกติช่วยพัฒนาสมองและการมองเห็นในเด็ก และเป็นตัวช่วยทำให้เกิดการดูดซึมของไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนเข้าสู่ร่างกายได้ดียิ่งขึ้น (Ishida et al., 2004; Vuog et al., 2006) ปริมาณสารไลโคปีนพบได้ทั้งในเนื้อผลและเยื่อหุ้มเมล็ดฟิกข้าวแต่พบมากกว่าในเยื่อหุ้มเมล็ดฟิกข้าวโดยมีสูงถึง 380 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งมากกว่าพืชที่พบไลโคปีนชนิดอื่นประมาณ 10-12 เท่าและมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟิกข้าวประมาณ 101 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าในแครอท 10 เท่า (Aoki et al., 2002) เนื่องจากคุณสมบัติของพืชที่มีอยู่มากมายในฟิกข้าวนี้เอง จึงมีการนำมาเป็นวัตถุดิบและส่วนประกอบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิดเช่น แยมฟิกข้าว น้ำฟิกข้าว ไอศกรีมฟิกข้าว ชาฟิกข้าว เป็นต้น

ตารางที่ 1 ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนในเนื้อผลและเมล็ดพริกขี้หนู

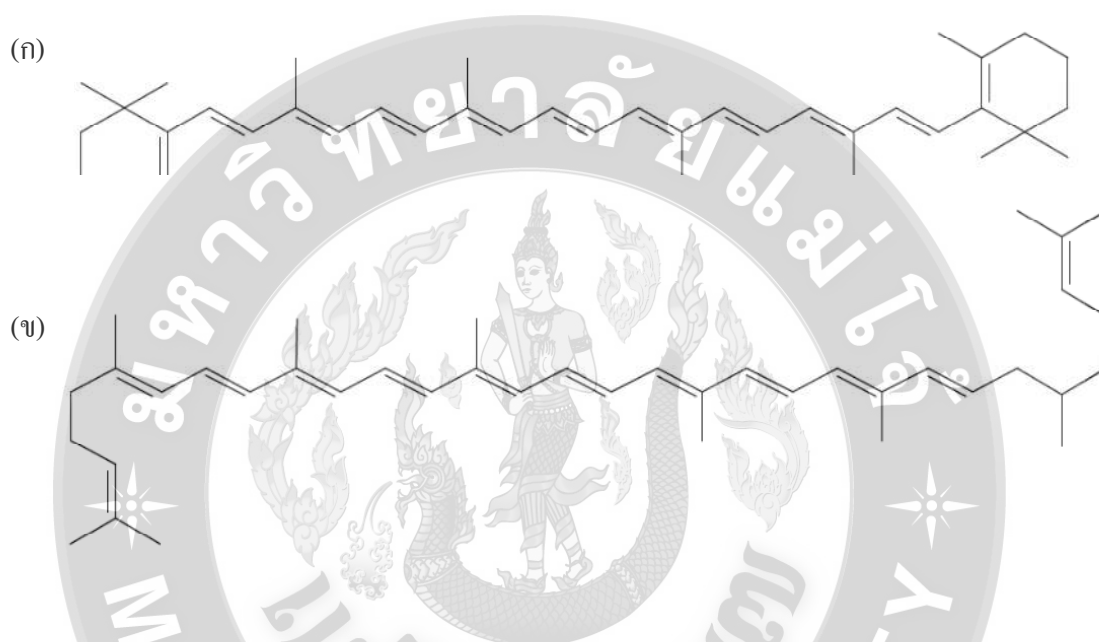
ไมโครกรัม/กรัม ของน้ำหนักผล	เนื้อผล	เยื่อเมล็ด
ไลโคปีน	0.9	380
เบต้าแคโรทีน	22.1	101

ที่มา: Aoki et al. (2002)

3. แคโรทีนอยด์ในผักและผลไม้

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์ของผักและผลไม้ ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงเพื่อส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และจับรังสีอัลตราไวโอเลต จึงปกป้องพืชจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอันเนื่องจากแสง และยังป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ในพืชแล้วยังสามารถพบแคโรทีนอยด์ได้ในสัตว์และจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้และสาหร่าย (วีระศักดิ์, 2005) โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) จำนวน 8 หน่วย ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์กันและทำให้เกิดคอนจูเกตของพันธะคู่ (เกิดการเรียงสลับระหว่างพันธะคู่กับพันธะเดี่ยว) เป็นสายยาว ระบบคอนจูเกตที่เกิดขึ้นนี้ทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเลตและแสงสีขาวและทำให้มีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังทำให้แคโรทีนอยด์มีสี โดยต้องมีย่าน้อย 7 คอนจูเกต (วีระศักดิ์, 2005; Dutta et al., 2005) โมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจเป็นเส้นตรงดังที่พบในไลโคปีนหรือเป็นวงแหวนที่ปลายโซ่ของโมเลกุลดังที่พบในเบต้าแคโรทีน โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) จำนวน 8 หน่วย ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์กันและทำให้เกิดคอนจูเกตของพันธะคู่ (เกิดการเรียงสลับระหว่างพันธะคู่กับพันธะเดี่ยว) เป็นสายยาว ระบบคอนจูเกตที่เกิดขึ้นนี้ทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเลตและแสงสีขาวและทำให้มีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังทำให้แคโรทีนอยด์มีสี โดยต้องมีย่าน้อย 7 คอนจูเกต (วีระศักดิ์, 2005; Dutta et al., 2005) โมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจเป็นเส้นตรงดังที่พบในไลโคปีนหรือเป็นวงแหวนที่ปลายโซ่ของโมเลกุลดังที่พบในเบต้าแคโรทีน (ภาพที่ 3) แคโรทีนอยด์สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือ Hydrogenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแคโรทีน เป็นกลุ่มที่มีโมเลกุลที่ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนทำให้เป็นสารไม่มีขั้วและละลายได้ในไขมัน ตัวอย่างในกลุ่มนี้ได้แก่

เบตาแคโรทีนและไลโคปีน เป็นต้น ส่วนในกลุ่มที่ 2 คือ Oxygenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแซนโทฟิล เป็นกลุ่มที่มีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล จึงมีขั้วมากกว่าและละลายในไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์กลุ่มแรก ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ลูทีน ซีแซนทีน และแอสตาแซนทีน (วีระศักดิ์, 2005)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ (ก) เบต้าแคโรทีน (ข) ไลโคปีน (Dutta et al., 2005)

ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งสร้างสีแดงในมะเขือเทศ แดงโม ฝรั่ง (แดง) ฟิงก์ เกรปฟรุต พริกขี้หนูและผลไม้ที่มีสีแดง (ยกเว้นสตอเบอรี่และเชอร์รี่) แต่ไม่พบในสัตว์ (รัตนพงษ์, 2554; Burri, 2002) โครงสร้างของไลโคปีนประกอบด้วยพันธะคู่ 11 ตำแหน่ง สามารถแบ่งโครงสร้างทางเคมีได้ 2 แบบคือ trans – configuration และแบบ cis-isomer โดยในธรรมชาติจะพบไลโคปีนแบบ trans – configuration แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบ cis-isomer ได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนหรือแสงสว่าง ซึ่งไลโคปีนแบบ cis-isomer นี้จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีกว่าแบบ trans-configuration เนื่องจากไลโคปีนที่มีโครงสร้างแบบ cis -isomer ถูกดูดซึมได้ดีกว่าแบบ trans – configuration และ

แบบ cis -isomer จะสามารถละลายและรวมตัวกับกรดน้ำดี (bile acid micells) ได้ดีกว่า แบบ trans - configuration จากงานวิจัยทางการแพทย์พบว่า สามารถพบไลโคปีนแบบ cis-isomer ในกระแสเลือดของคนถึง 60% (Charanjit et al., 2007) ดังนั้นหากจะรับประทานผักผลไม้เพื่อให้ร่างกายได้รับไลโคปีน ควรนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนก่อน

ไลโคปีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความแรงมากเมื่อเทียบกับสารประกอบในกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ต่อกันเป็นสายยาวกว่า โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบผลในการต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง พบว่าไลโคปีนมีฤทธิ์ที่ดีกว่าเบต้าแคโรทีนและแอลฟาโทโคฟีรอลถึง 2 และ 10 เท่าตามลำดับ มีส่วนสำคัญในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง กลไกการออกฤทธิ์ที่สำคัญคือเข้าไปจับกับอนุมูลอิสระ ในร่างกายซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการทำลายสายดีเอ็นเอ อันก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ไลโคปีนจะช่วยลดการก่อกลายพันธุ์ ทำให้สามารถยับยั้งวงจรชีวิตของเซลล์มะเร็งในช่วงต้นและลดการเกิดเนื้องอกได้ ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (Burri, 2002)

เบต้าแคโรทีนมีคุณสมบัติละลายในไขมันได้ดีเช่นเดียวกับไลโคปีน พบมากในพืชที่มีสีเหลืองและสีส้ม เช่น หัวแครอท หัวผักกาดแดง มะเขือเทศ และอื่นๆ เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ เบตาแคโรทีนตามธรรมชาติมี 2 ไอโซเมอร์คือ all trans isomers และ cis-isomers จากงานวิจัยพบว่าเฉพาะ 9-cis betacarotene ที่สามารถเปลี่ยนเป็นเรตินอลและวิตามินเอได้ (วีระศักดิ์, 2005; Levin and Mokady, 1994) เบตาแคโรทีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระก่อนที่จะทำปฏิกิริยาทำลายส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ จนทำให้เซลล์นั้นมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็งและโรคหลอดเลือดหัวใจ นอกจากนี้เบต้าแคโรทีนยังใช้ในการรักษาโรคบางชนิด เช่น โรคกระดูก ความผิดปกติของผิวหนังอันเนื่องมาจากความไวต่อแสง (วีระศักดิ์, 2005) การสลายตัวของเบต้าแคโรทีนเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากมีพันธะคู่อยู่จำนวนมาก ผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้สีของเบต้าแคโรทีนจางลง ผลผลิตที่ได้จากการออกซิไดซ์ของเบต้าแคโรทีนคือ อีพอกไซด์ สารคาร์บอนิล และแอลกอฮอล์ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของอาหาร ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดเร็วขึ้นเมื่อมีสารประกอบซัลไฟด์และไอออนของโลหะ หรือเอนไซม์ไลพอกซิจีเนส ซึ่งจะออกซิไดซ์แคโรทีนอยด์ของไลพอกซิจีเนส นอกจากนั้นการสูญเสียเบต้าแคโรทีนเกิดจากการเปลี่ยนไอโซเมอร์จากทรานส์ไปเป็นซิสโดยความร้อน ตัวทำละลายอินทรีย์ กรด และเมื่อสัมผัสกับแสง (รัชนี, 2547)

4. กระบวนการผลิตผงฟักข้าว

ในกระบวนการผลิตผงฟักข้าวจะเริ่มทำจากการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้น ซึ่งได้แก่ การล้าง การหั่น การเอาเมล็ดฟักข้าวออกและเก็บเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งเป็นส่วนที่มีแคโรทีนอยด์ไว้ ก่อนนำไปอบแห้ง แล้วบดเป็นผง (ภาพที่ 4) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

4.1 การเอาเมล็ดออก เป็นกระบวนการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และเป็นกระบวนการที่สำคัญ เนื่องจากสามารถส่งผลต่อมวลและปริมาณแคโรทีนอยด์ของผลผลิตได้ ภาพที่ 2 เห็นได้ว่าเยื่อหุ้มเมล็ดนั้นมีลักษณะเหนียวและยึดติดกับเมล็ดฟักข้าว ดังนั้นในขั้นตอนการเอาเมล็ดออกจะต้องทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดติดไปกับเมล็ดน้อยที่สุด วิธีการเอาเมล็ดออกสามารถทำได้หลายวิธีคือ

4.1.1 การเอาเมล็ดออกด้วยมือ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่สามารถทำได้ในกรณีที่ทำการผลิตในปริมาณน้อยและอาจมีเยื่อหุ้มเมล็ดติดไปกับเมล็ดฟักข้าวได้

4.1.2 การอบแห้งทั้งเมล็ดก่อนเอาเมล็ดออกด้วยมือ วิธีนี้เป็นวิธีที่ Vuog and King (2003) ได้ทำการศึกษาและรายงานว่าการอบแห้งเมล็ดฟักข้าวด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เยื่อหุ้มเมล็ดแข็งและสามารถร่อนออกจากเมล็ดได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้วิธีนี้ยังช่วยลดเวลาที่ใช้ในการอบแห้งก่อนที่จะบดเป็นผงได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจทำให้แคโรทีนอยด์ที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.1.3 การแช่แข็ง เป็นวิธีที่ทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดแข็งทำให้ง่ายต่อการเอาเมล็ดออกและแคโรทีนอยด์ไม่เกิดการเสื่อมสลาย แต่เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก

4.1.4 การใช้เอนไซม์ เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวมีองค์ประกอบของเส้นใย ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพคติน ดังนั้นการใช้เอนไซม์เพื่อย่อยเส้นใยดังกล่าวจะช่วยทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดหลุดออกมาจากเมล็ดได้ง่าย

4.2 การอบแห้ง เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารระดับหนึ่ง เพื่อไล่น้ำออกจากอาหารให้เหลือปริมาณน้อยที่สุด ทำให้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารเนื่องจากเมื่ออาหารมีน้ำลดลงจะสามารถทำให้เกิดยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และกิจกรรมของเอนไซม์ได้ นอกจากนี้การอบแห้งช่วยลดน้ำหนัก ทำให้ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง การอบแห้งทำได้หลายวิธี เช่นการตากแดด การทำ

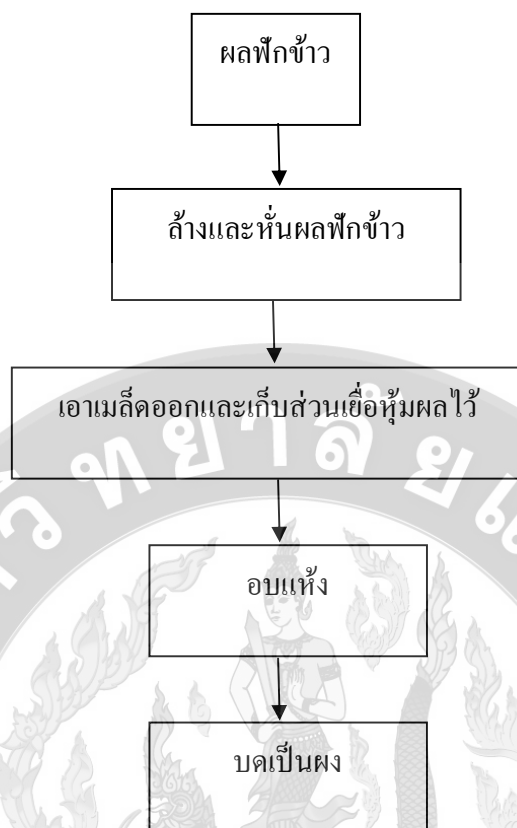
แห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การใช้ตู้อบแห้งลมร้อน ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ เป็นต้น ซึ่งวิธีการอบแห้งและสภาวะ เช่น อุณหภูมิและความดันการอบแห้งที่ต่างกันอาจส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ดังนี้

4.2.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังการอบแห้ง จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากน้ำจะเคลื่อนย้ายจากด้านในออกมาด้านนอกอย่างรวดเร็ว ทำให้กลไกและอัตราการเคลื่อนย้ายของตัวถูกละลายมีความเข้มข้นที่ผิวมากขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพที่ซับซ้อนที่ผิว ส่งผลให้ผิวนอกของอาหารแข็งขึ้น เรียกว่าการเกิด case hardening ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีผิวด้านนอกแข็งแต่ภายในยังชื้นอยู่

4.2.2 กลิ่นและรสชาติ ระหว่างการอบแห้งความร้อนจะทำให้กลิ่นระเหยออกไปด้วย ดังนั้นการสูญเสียสารให้กลิ่นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้และความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดในอาหาร ความดันไอของสารที่ระเหยได้และความสามารถในการระเหยน้ำ

4.2.3 สี การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีผิวของอาหารและเปลี่ยนการสะท้อนของสี มีการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและอาจเกิด browning reaction ในระหว่างการเก็บรักษาหากยังมีกิจกรรมของเอนไซม์เหลืออยู่

4.2.4 คุณค่าทางโภชนาการ วิตามินแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายน้ำได้แตกต่างกัน วิตามินซีไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อนและการออกซิเดชันมากที่สุด หากต้องการลดการสูญเสียวิตามิน ต้องใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้น ใช้อุณหภูมิต่ำหรือความชื้นสัมพัทธ์และออกซิเจนที่ต่ำ (นิธิยา, 2544)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการผลิตผงฟักข้าว (Tran, 2007)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. อุปกรณ์

- 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ 2 ตำแหน่งยี่ห้อ Ohaus รุ่น YS202 ประเทศเยอรมัน
- 1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP2245 ประเทศเยอรมัน
- 1.3 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น 500/108I ประเทศเยอรมัน
- 1.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง ยี่ห้อ Lab quip รุ่น 1000 ประเทศอังกฤษ
- 1.5 เครื่องผสม vortex ยี่ห้อ Gemmy รุ่น VM-300
- 1.6 โถดูดความชื้น
- 1.7 เครื่องวัดสี (colorimeter) ยี่ห้อ JUKI Instrument รุ่น JC801 ประเทศญี่ปุ่น
- 1.8 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ยี่ห้อ Agilent รุ่น 1100 series ประเทศเยอรมัน
- 1.9 กระป๋องหาความชื้น
- 1.10 อ่างน้ำร้อน (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WB22 ประเทศเยอรมัน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

- 2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบและคาร์โบไฮเดรตของเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าว ตามวิธีที่ระบุใน AOAC (2000)

2.1.1 การวิเคราะห์หาความชื้น (Moisture)

การวิเคราะห์หาความชื้นดำเนินการตามวิธีของ AOAC Method 984.25 (AOAC, 2000) นำกระป๋องหาความชื้น (moisture can) ออบในตู้อบ (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำกระป๋องออกจากตู้อบ ใส่ในโถดูดความชื้น (desiccator) แล้วทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักถ้วยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นนำถ้วยพร้อมตัวอย่างออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักกระป๋องและตัวอย่างหลังอบ

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})(\text{กรัม})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

2.1.2 การวิเคราะห์หาโปรตีน (Crude protein)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) จำนวน 2 เม็ด และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) จำนวน 25 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง digester block ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีแล้วจึงปรับเป็น 360 องศาเซลเซียส จนสารละลายใส จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ลงใน Kjeldahl tube นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยเข้าเครื่องกลั่น แล้วนำขวดรูปชมพู่ (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่กรดบอริก 4% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด เติม 40% NaOH ลงในหลอดตัวอย่าง 20-40 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่ผ่านการกลั่น มาไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(\text{ปริมาตรของ } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ ที่ใช้ไตเตรต} - \text{ปริมาตรของ } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ ที่ใช้ไตเตรตแบงค์}) \times 0.1 \times 0.014}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

2.1.3 การวิเคราะห์หาไขมัน (Crude fat)

ชั่งขวดก้นกลมด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งและชั่งตัวอย่างอบแห้ง 1 กรัม เทลงบนกระดาษกรองห่อหุ้มให้มิดชิด นำมาใส่ลงใน thimble บรรจุในชุดสกัด โดยใช้เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ในปริมาณ 250 มิลลิลิตร ใส่ในขวดก้นกลมให้ความร้อนที่ระดับต่ำนาน 3-4 ชั่วโมง จากนั้นนำขวดก้นกลมออกจากเตาหลุม ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปประเหยตัวทำละลายด้วย

เครื่องทำระเหย (rotary evaporator) จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนัก และคำนวณปริมาณไขมันที่สกัดได้ ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

2.1.3 การวิเคราะห์หาใยอาหาร

นำตัวอย่างอาหารที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วไปบดลดขนาดด้วย Blender จากนั้นชั่งน้ำหนัก ที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดเบาๆ นาน 30 นาทีโดยพยายามรักษาระดับของเหลวในบีกเกอร์ให้คงที่โดยการเติมน้ำกลั่นที่ร้อน และคนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันตัวอย่างเกาะติดผนังบีกเกอร์ แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองบน Buchner ล้างบีกเกอร์และกากบนกระดาษกรองด้วย น้ำกลั่นที่ร้อน จนกระทั่งน้ำที่ผ่านกระดาษกรองลงมามีค่า pH เป็นกลาง เติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 5% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีกาก ปรับปริมาตรของเหลวในบีกเกอร์เป็น 200 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (จะได้สารละลาย NaOH เข้มข้น 1.25%) นำไปต้มให้เดือดเบาๆ นาน 30 นาทีโดยพยายามรักษาระดับของเหลวในบีกเกอร์ให้คงที่โดยการเติมน้ำกลั่นที่ร้อน และคนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันตัวอย่างเกาะติดกับผนังบีกเกอร์ จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองชนิดปราศจากเถ้า ที่ทราบน้ำหนัก ที่แน่นอนบน Buchner ล้างบีกเกอร์และกากบนกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน และล้างตะกอนด้วย สารละลาย HCl ความเข้มข้น 1% จากนั้นล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน จนกระทั่งน้ำที่ผ่านกระดาษ กรองลงมาเป็นกลาง แล้วล้างตะกอนด้วยเอทานอล 95% ปริมาณเล็กน้อย 2 รอบ นำตะกอนมาระเหยเอา เอทานอลออก และนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 100°C จนน้ำหนักคงที่ นำออกจากตู้อบแล้วทิ้ง ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกากที่ได้ นำกากที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ash) บันทึกผลและ คำนวณหาปริมาณเส้นใยในอาหารจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เส้นใยอาหาร} = \frac{(\text{น้ำหนักแห้งของกาก} - \text{น้ำหนักแห้งของเถ้า}) \text{ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

2.1.4 การวิเคราะห์ห่าเถ้า

เผา Crucible ในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 500-550°C นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนของ Crucible จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างอาหารประมาณ 4-6 กรัม ใส่ลงใน Crucible เเผตัวอย่างอาหารจนไม่มีควันด้วย Hot plate ในตู้ควัน และนำไปเผต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500-550°C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นก่อนนำไปชั่งหาน้ำหนัก แล้วคำนวณหาปริมาณเถ้าทั้งหมดในอาหารจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของเถ้า (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

2.1.4 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

การหาคาร์โบไฮเดรตของตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสูตร

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต = 100 - (เปอร์เซ็นต์โปรตีน+เปอร์เซ็นต์ไขมัน+เปอร์เซ็นต์ใยอาหาร+เปอร์เซ็นต์เถ้า)

2.2 การศึกษาผลของวิธีการเอาเมล็ดออกต่อคุณภาพของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการเอาเมล็ดออก 3 วิธีการ ได้แก่

2.2.1 การใช้มือ

ล้างผลพืชข้าวด้วยน้ำสะอาดและผ่าครึ่งผลพืชข้าว จากนั้นควักเมล็ดพืชข้าวออกจากผลและนำไปคั่นเอาเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวผ่านผ้าขาวบาง เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2.2.2 การอบแห้งบางส่วนก่อนการใช้มือเอาเมล็ดออก ตามวิธีของ Vuog and King (2003)

นำเมล็ดพืชข้าวมาอบแห้งเมล็ดพืชข้าวที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นแยกเมล็ดและเยื่อหุ้มเมล็ดออกโดยใช้มือแกะออก เก็บส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดไว้เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2.2.3 การใช้เอนไซม์เพคตินเอสที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามวิธีของ Tran (2008)

นำเมล็ดพืชข้าวจำนวน 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์ความเข้มข้น 0.1 % ปริมาณ 1 มิลลิลิตรลงไปในบีกเกอร์ และนำไปบ่มไว้ในอ่างน้ำที่ควบคุม

อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำไปคั่นเอาเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผ่านผ้าขาวบาง เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2.4 ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยลมร้อนที่ 60 70 และ 80 °C

นำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ได้จากข้อ 2.3 มาวางกระจายให้เต็มถาด จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, 500/108I, Germany) ที่อุณหภูมิ 60-80°C จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 10% ฐานแห้ง ในระหว่างการอบแห้งทำการสุ่มตัวอย่าง 3-5 กรัมออกมาเพื่อหาความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้ง

2.5 การทดสอบคุณภาพทางด้านสี

การทดสอบคุณภาพทางด้านสีของตัวอย่างจะใช้เครื่องวัดสีอาหาร ในระบบ Hunter Lab โดยวัดค่าสีของตัวอย่างในทอมของตัวแปร L^* , a^* และ b^* ทำการวัดสีตัวอย่าง 5 ซ้ำ โดยที่ค่า L^* (Lightness) แสดงค่าความสว่างและมีค่าเป็นบวกและลบ ตามลำดับ และค่า a^* (Redness) แสดงค่าความเป็นสีแดง หรือสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นบวกและลบ ตามลำดับ ค่า b^* (Yellowness) แสดงค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นบวกและลบ ตามลำดับ และทำการคำนวณค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE) จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\Delta L = L^* - L^*_0, \Delta a = a^* - a^*_0 \text{ and } \Delta b = b^* - b^*_0$$

โดยที่ L_0 , a_0 , b_0 เป็นค่าสีของเยื่อหุ้มฟักข้าวสด

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน

ดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนตามวิธีของ Britton (2005) โดยนำตัวอย่างสด 5 กรัม หรือตัวอย่างแห้ง 3 กรัมใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายอะซิโตนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นผสมสารทั้งหมดให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex-mixed เป็นเวลา 30 วินาทีแล้วนำไปเหวี่ยงแยกชั้นด้วยเครื่อง

หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2100 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และทำการสกัดอีกครั้ง นำสารสกัดที่รวมกันแล้วไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยที่อุณหภูมิ 50 °C จากนั้นละลายเบต้าแคโรทีนที่สกัดได้ด้วยอะซิโตรไนไตร 2 มิลลิลิตรและกรองด้วย Syringe filter รูกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตรเพื่อเตรียมไว้วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยด้วยเครื่อง HPLC ใช้สภาวะตามคู่มือของคอลัมน์ Zorbax Eclipse C₁₈ 5 μ L (4.6 $\times$ 150 mm) ที่ใช้ในการทดลอง โดยปริมาณสารที่ใช้สำหรับวิเคราะห์คือ 10 ไมโครลิตร อัตราการไหลของสารคือ 1.5 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ดีเทคเตอร์แบบแสง UV ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร อุณหภูมิคอลัมน์ขณะที่ทำการวิเคราะห์คือ 30 °C ตัวทำละลายเคลื่อนที่เป็นเมทานอลและน้ำในอัตราส่วน 90:10

2.7 การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน แต่ความยาวคลื่นของเครื่อง UV ดีเทคเตอร์เป็น 280 นาโนเมตร

2.8 การศึกษาการนำสีผสมอาหารจากเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวไปประยุกต์ใช้

โดยการนำสีผสมอาหารจากเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวไปย้อมสีเม็ดแป้งมันและวุ้นเปรียบเทียบกับสีผสมอาหาร โดยนำผงสีที่สกัดได้และผงสีผสมอาหารมาตรฐาน มาทำการผสมน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย พร้อมทั้งทำการย้อมสีเม็ดแป้งมันและผสมลงไปในวุ้น แล้วทำการวัดค่าสี ด้วยเครื่อง colorimeter

2.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 15.0 for Windows

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มฟักข้าว

เยื่อหุ้มฟักข้าวมีองค์ประกอบหลักทางเคมี (แสดงดังตารางที่ 2) โดยองค์ประกอบหลักที่มีมากที่สุดคือใยอาหารและมีส่วนที่เป็นไขมันอยู่ในปริมาณน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเยื่อหุ้มฟักข้าวเป็นวัตถุดิบที่เป็นประโยชน์สำหรับร่างกายในการที่จะนำผลผลิตเป็นสีผสมอาหารธรรมชาติ

ตารางที่ 2 แสดงผลขององค์ประกอบของกาบใบนอกของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

องค์ประกอบ	ปริมาณสาร (ฐานแห้ง)	หน่วย
ไขมัน	1.02±0.11	กรัม/ 100 กรัม
โปรตีน	2.43±0.73	กรัม/ 100 กรัม
เถ้า	8.59±0.97	กรัม/ 100 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	67.71±0.99	กรัม/ 100 กรัม
ใยอาหาร	20.25±1.89	กรัม/ 100 กรัม

2. ผลของวิธีการเอาเมล็ดออกต่อคุณภาพของเยื่อหุ้มฟักข้าว

ผลการศึกษาวิธีการเอาเมล็ดออกซึ่งได้แก่ การใช้มือ การอบแห้งบางส่วนและการใช้เอนไซม์เพคตินเอสโตเปอร์เซ็นต์น้ำหนัของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแสดงในตารางที่ 3 พบว่า การใช้เอนไซม์เพคตินเอสโตเปอร์เซ็นต์น้ำหนัของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสูงกว่าวิธีการใช้มือและการอบแห้งบางส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากว่าเอนไซม์เพคตินเอสช่วยย่อยส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่งมีเพคตินเป็นองค์ประกอบให้หลุดออกจากเมล็ดได้มากขึ้น (Tran, 2008)

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ได้ของเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการเอาเมล็ดออก	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าว
การใช้มือ	10.39 ± 3.05 ^a
การอบแห้งบางส่วน	10.60 ± 2.17 ^a
การใช้เอนไซม์	49.21±0.47 ^b

^{a,b} ภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ผลของปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือ การอบแห้งบางส่วน การใช้เอนไซม์ พบว่า ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวเมื่อผ่านขั้นตอนการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการอบแห้งบางส่วนมีค่าน้อยที่สุด ส่วนเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านวิธีการใช้มือและการใช้เอนไซม์นั้นมีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ทำให้เบต้าแคโรทีนและไลโคปีนเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Engin และคณะ (2013) ที่รายงานว่า เกิดการลดลงของปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในมะเขือเทศที่ผ่านการอบแห้งที่ 60°C ในขณะที่การใช้มือและการใช้เอนไซม์นั้นเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวไม่ผ่านความร้อนหรือผ่านความร้อนในระดับต่ำทำให้ยังคงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนอยู่ปริมาณมากกว่า โดยที่สีของเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านกระบวนการเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (แสดงในตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 เบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการเอาเมล็ดออก	เบต้าแคโรทีน	ไลโคปีน
	(มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	(มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)
การใช้มือ	197.75±19.64 ^b	270.19±15.75 ^b
การอบแห้งบางส่วน	167.54±14.61 ^a	248.34±21.22 ^a
การใช้เอนไซม์	210.38±20.30 ^b	262.64±17.04 ^b

^{a,b} ภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

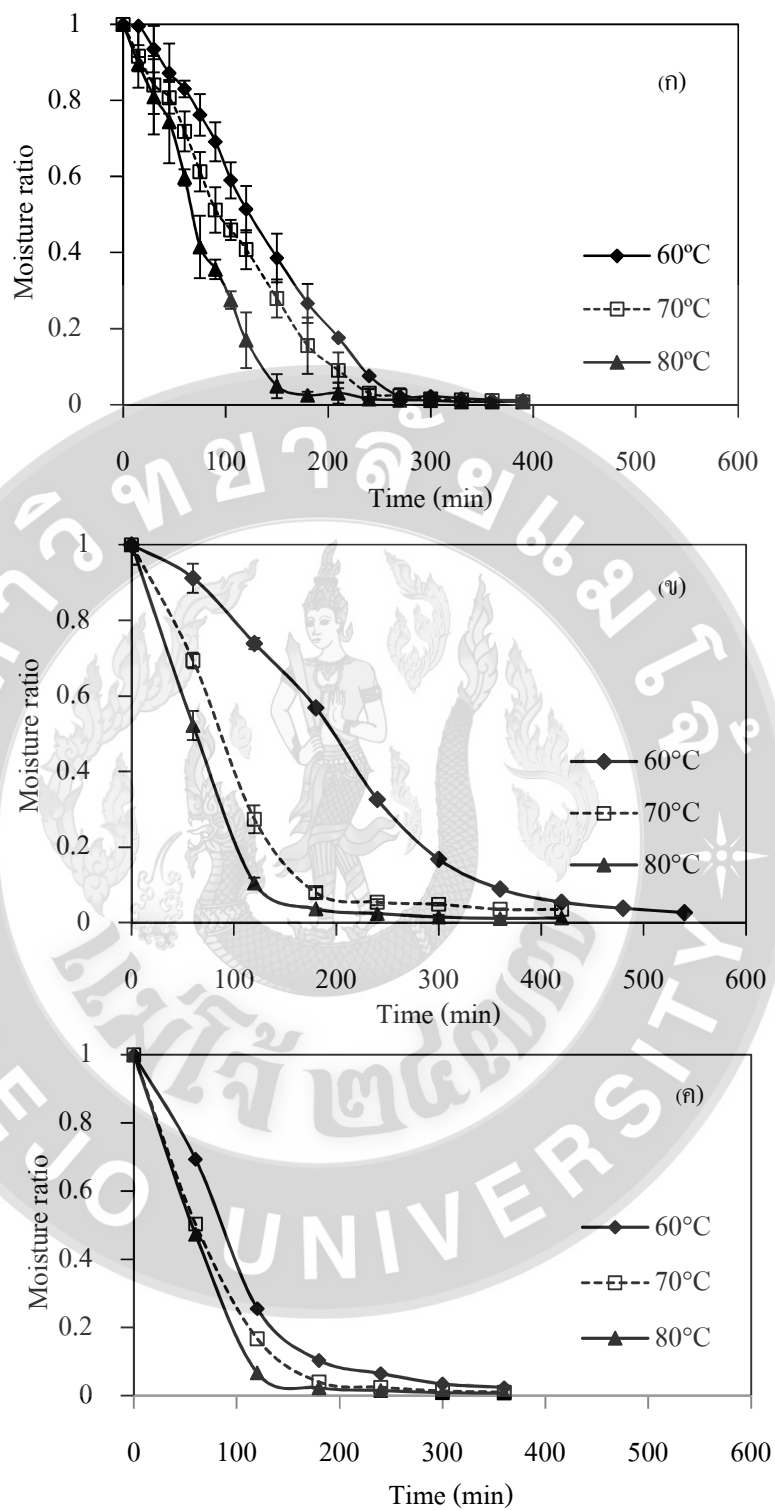
ตารางที่ 5 สีของเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการเอาเมล็ดออก	L^*	b^*	a^*
การใช้มือ	43.51 ± 2.43	26.56 ± 1.29	18.15 ± 3.05
การอบแห้งบางส่วน	41.29 ± 1.91	27.81 ± 2.57	20.58 ± 2.46
การใช้เอนไซม์	44.03 ± 2.55	25.18 ± 3.12	19.88 ± 3.40

^{a,b} ภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

3. ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อคุณภาพของเยื่อหุ้มพริกขี้หนู

ความชื้นเริ่มต้นของเยื่อหุ้มพริกขี้หนูที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือ การอบแห้งบางส่วนและการใช้เอนไซม์เท่ากับ 4.85 ± 0.72 4.07 ± 0.19 และ 3.92 ± 0.31 กรัม/กรัมตัวอย่างอย่างแห้งตามลำดับ เมื่อนำเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูที่ผ่านการเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีนั้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80°C พบว่า ความชื้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาการอบแห้งนานขึ้น และอัตราการลดลงของความชื้นในเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น (แสดงในภาพที่ 5) ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิด driving force ในการถ่ายเทมวลและความร้อนสูงขึ้นทำให้การแพร่ของความชื้นจากตัวอย่างมีค่ามากขึ้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (สักรกมน, 2555) นอกจากนี้จากตารางที่ 5 พบว่าความชื้นสุดท้ายของเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ อยู่ในช่วงประมาณ 0.050-0.089 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 5 อัตราส่วนความชื้นของเชื้อหุ้มฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธี (ก) การใช้มือ (ข) การอบแห้งบางส่วน (ค) การใช้เอนไซม์

ตารางที่ 6 ความชื้นของเชื้อหุ้มผักขำก่อนและหลังการอบแห้ง

วิธีการเอาเมล็ดออก	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสุดท้าย (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาท)
การใช้มือ	60	0.060±0.010 ^a	330
	70	0.065±0.009 ^a	300
	80	0.050±0.004 ^a	270
การอบแห้งบางส่วน	60	0.089±0.013 ^b	360
	70	0.088±0.003 ^b	330
	80	0.082±0.011 ^b	300
การใช้เอนไซม์	60	0.065±0.026 ^a	180
	70	0.083±0.013 ^b	210
	80	0.080±0.009 ^b	240

^{a,b} ภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนของเชื้อหุ้มเมล็ดผักขำหลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80°C แสดงในตารางที่ 7 จากผลการศึกษาพบว่า ทั้งปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนลดลงเมื่อการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนมีค่าน้อยลง ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจากการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเชื้อหุ้มเมล็ดผักขำเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซิจีเนสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ตามธรรมชาติในผักและผลไม้ และเป็นเอนไซม์ที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา oxidative degradation ของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน ซึ่งจะเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนให้อยู่ในรูปอื่นที่ไม่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Baysal และ Demirdöven, 2007) นอกจากนี้เบต้าแคโรทีนและไลโคปีนยังสามารถสลายตัวได้เนื่องจากความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ช่วยเร่งปฏิกิริยา oxidative degradation ให้เร็วขึ้นและสลายตัวจากความร้อนได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงผลของวิธีการเอาเมล็ดออกต่อเชื้อหุ้มผักขำอบแห้ง พบว่าวิธีการเอาเมล็ดออกไม่ส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 7 ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนของเชื้อหุ้มผักขาวหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

วิธีการเอาเมล็ดออก	อุณหภูมิ (°C)	เบต้าแคโรทีน	%Retention	ไลโคปีน	%Retention
การใช้มือ	60	170.52±14.75 ^c	85.63±4.25 ^c	193.80±15.23 ^c	71.80±3.26 ^c
	70	158.21±15.90 ^b	78.4 ±2.49 ^b	168.33±14.55 ^b	61.38±2.02 ^b
	80	126.77±11.00 ^a	63.62±3.99 ^a	134.50±14.61 ^a	53.23±2.19 ^a
การอบแห้งบางส่วน	60	138.61±10.98 ^b	82.73±3.51 ^c	181.29±12.87 ^{bc}	73.00±4.03 ^c
	70	125.5.0±8.93 ^a	74.76±1.85 ^b	153.84±11.06 ^b	61.95±3.18 ^b
	80	106.88±12.46 ^a	63.79±3.99 ^a	136.90±13.28 ^a	55.13±1.93 ^a
การใช้เอนไซม์	60	180.60±15.79 ^c	85.84±1.58 ^c	201.74±9.39 ^c	76.81±2.07 ^c
	70	168.96±13.03 ^b	80.31±3.52 ^b	156.68±11.60 ^c	59.65±3.56 ^b
	80	128.73±10.75 ^a	61.19±3.08 ^a	146.72±10.42 ^b	55.86±3.28 ^a

^{a,b,c} ภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

จากตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาจากค่าสีของเชื้อหุ้มเมล็ดผักขาวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกทั้ง 3 วิธีและผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ค่าความสว่าง L^* ของเชื้อหุ้มเมล็ดผักขาวที่ผ่านการอบแห้งทุกสภาวะการทดลองมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าความสว่างก่อนการอบแห้ง ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงความเป็นสีแดงและสีเหลืองนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับค่า a^* และ b^* ของเชื้อหุ้มเมล็ดผักขาวก่อนการอบแห้ง นอกจากนี้จากผลการศึกษายังพบว่า วิธีการเอาเมล็ดออกและอุณหภูมิการอบแห้งไม่ส่งผลต่อค่า L^* a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าปริมาณของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนจะลดลงหลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ แต่ความชื้นในตัวอย่างที่ลดลงกลับส่งผลให้ความเข้มข้นของสีมีค่ามากขึ้นทำให้ค่าสี a^* และ b^* ที่วัดได้ไม่แตกต่างจากก่อนการอบแห้ง ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Guinée และ Barrocab (2012) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อสีของผักทองอบแห้ง ซึ่งพบว่าค่าสีแดงและสีเหลืองของผักทองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 30 และ 70°C

ตารางที่ 8 สีของเยื่อหุ้มฟักข้าวหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

วิธีการเอาเมล็ดออก	อุณหภูมิ (°C)	L^*	a^*	b^*	ΔE
การใช้มือ	60	22.18±3.91 ^a	27.73±1.23 ^b	20.84±1.06 ^a	21.59±3.67 ^a
	70	25.77±2.53 ^a	29.94±0.85 ^b	22.16±3.23 ^a	18.76±1.76 ^a
	80	29.00±0.82 ^b	31.13±2.45 ^b	24.20±2.82 ^a	18.41±0.85 ^a
การอบแห้งบางส่วน	60	26.00±1.78 ^{ab}	21.22±1.67 ^a	20.15±3.31 ^a	16.96±2.35 ^a
	70	22.93±2.02 ^a	23.38±1.09 ^a	17.79±0.79 ^a	19.15±1.87 ^a
	80	24.50±1.08 ^a	23.06±1.09 ^a	18.76±2.37 ^a	17.68±1.55 ^a
การใช้เอนไซม์	60	23.91±2.64 ^a	25.90±4.05 ^a	20.84±1.06 ^a	20.10±0.94 ^a
	70	24.15±0.83 ^a	22.77±0.88 ^a	20.32±1.58 ^a	18.32±0.17 ^a
	80	25.70±1.93 ^a	21.49±1.71 ^a	20.82±2.38 ^a	18.91±2.04 ^a

^{a,b} ภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

4. การศึกษาการนำสีผสมอาหารจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไปประยุกต์ใช้

เมื่ออบแห้งเยื่อหุ้มฟักข้าวแล้วนำไปทดสอบการนำไปใช้เป็นสีผสมอาหาร โดยจะทำการผสมกับแป้งมันและวุ้นเพื่อตรวจสอบความสามารถในประยุกต์ใช้กับอาหารแล้วนำไปวัดค่าสีเทียบกับการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์ โดยผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสีผสมอาหารที่ได้จากฟักข้าวเมื่อนำไปใช้กับแป้งมันแล้วให้ค่าสีที่น้อยกว่าการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำไปผสมกับวุ้นพบว่า สีที่ได้จากการใช้สีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและสีผสมอาหารสังเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกัน (สามารถพิจารณาจากภาพที่ 6 และ 7)

ตารางที่ 9 ค่าสีของแป้งมันและวุ้นที่ใช้สีผสมอาหารจากผักขาวและสีผสมอาหารสังเคราะห์

	สีผสมอาหาร	L^*	a^*	b^*
แป้งมัน	เชื้อหุ้มเมล็ดผักขาว	64.23 ± 2.16^a	15.92 ± 2.84^a	16.90 ± 2.19^a
	สังเคราะห์	58.89 ± 3.07^b	22.66 ± 2.11^b	20.95 ± 1.74^b
วุ้น	เชื้อหุ้มเมล็ดผักขาว	40.28 ± 3.32^b	25.83 ± 1.86^b	19.20 ± 2.83^a
	สังเคราะห์	46.09 ± 2.58^b	24.59 ± 2.27^b	16.90 ± 1.82^a

^{a,b} ภายใต้อัตลักษณ์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$



ภาพที่ 6 แป้งมันที่ผ่านการผสมสีอาหารสังเคราะห์และสีผสมอาหารจากเชื้อหุ้มเมล็ดผักขาว



สีผสมอาหารสังเคราะห์

สีผสมอาหารจากเชื้อหุ่มเมล็ดพืชขาว



ภาพที่ 7 รุ้นที่ผ่านการผสมสีอาหารสังเคราะห์และสีผสมอาหารจากเชื้อหุ่มเมล็ดพืชขาว

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตสัผสมอาหารธรรมชาติจากเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวซึ่งได้แก่วิธีการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือ การอบแห้งบางส่วนก่อนการใช้มือและการใช้เอนไซม์เพคตินเอส และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80°C ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ของปริมาณเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าว ปริมาณเบต้าแคโรทีน ปริมาณไลโคปีนและ สีของเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าว โดยในการทดลองพบว่า การใช้เอนไซม์เพคตินเอสให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวมากที่สุดเท่ากับ $49.21 \pm 0.47\%$ โดยที่การใช้มือและการอบแห้งบางส่วนมีค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวเท่ากับ $10.39 \pm 3.05\%$ และ $10.60 \pm 2.17\%$ ตามลำดับ ส่วนปริมาณเบต้าแคโรทีน ไลโคปีนหลังการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการอบแห้งบางส่วนนั้นมีค่าน้อยที่สุดคือ 210.38 ± 20.30 และ 262.64 ± 17.04 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง แต่สีของเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวหลังจากเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีนั้นไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ

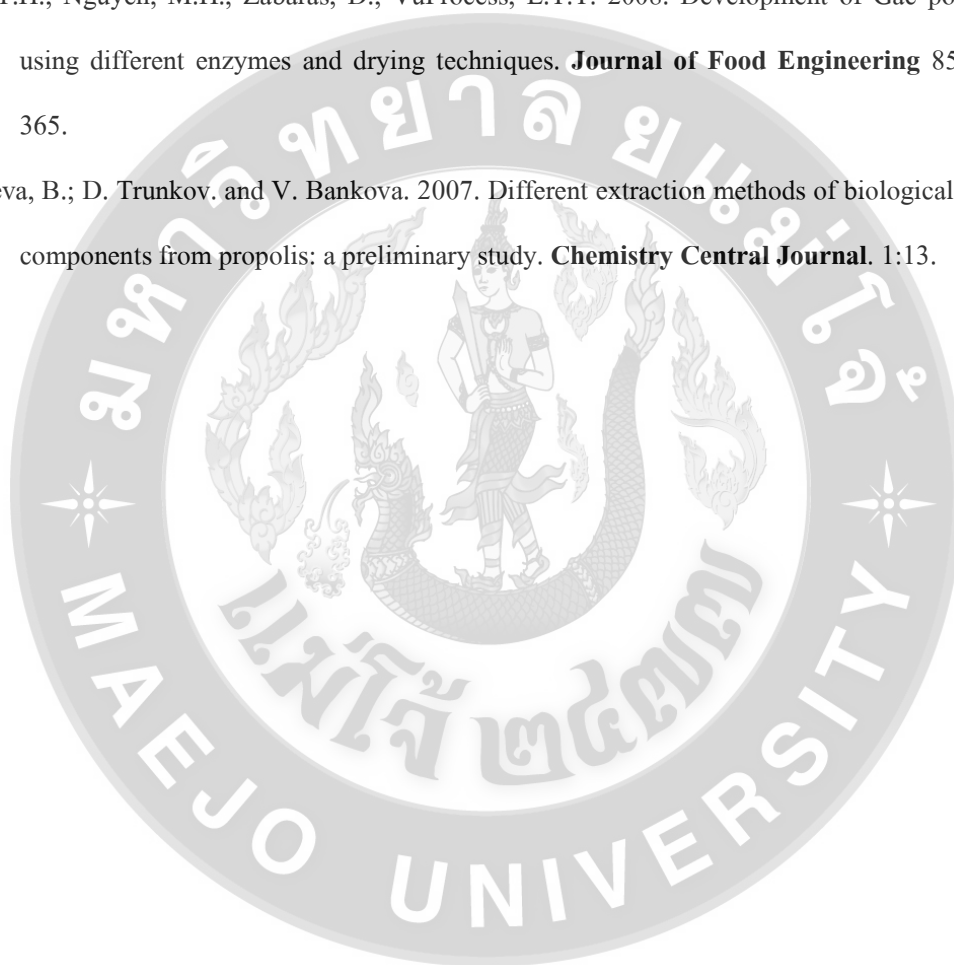
นอกจากนี้ผลของการอบแห้งนั้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนลดลง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C นั้นมีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนสูงสุดรองลงมาก็คืออุณหภูมิ 70 และ 80°C ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิการอบแห้งนั้นไม่ส่งผลต่อค่าสีของเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาทั้งหมดการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้เอนไซม์และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตสัผสมอาหารธรรมชาติจากเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าว เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าว ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนสูงสุด โดยการประยุกต์ใช้สัผสมอาหารธรรมชาติจากเชื้อหุ้มเมล็ดพืชข้าวโดยผสมในแป้งมันและวุ้นพบว่า มีการยอมรับที่ดีแต่อาจมีสีไม่สดเท่ากับการใช้สัผสมอาหารสังเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

- ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์. 2552. พักข้าว ผักข้างรั้งที่น่าจับตามอง. *วารสารอาหาร* 39(4): 318-319.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2544. **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น**. โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์. กรุงเทพฯ.
- ประภัสสร สุขสุทธิ. 2554. การแปรรูปพักข้าว. *เกษตรก้าวหน้า* 24(3): 43-53.
- ประมวล ศรีกาหลง. 2553. เทคนิคในการแยกแคะโรทีนอยด์จากวัตถุดิบธรรมชาติ. *วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า* 2(2): 12-22.
- รัชนี ตันตพานิช. 2547. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- รัตนพงษ์ จันทะวงษ์. 2554. “พักข้าว” ผักพื้นบ้านอันทรงคุณค่า. *เกษตรก้าวหน้า* 24(3): 15-32
- วีระศักดิ์ สามิ. 2005. แครโรทีนอยด์: โครงสร้างทางเคมีและกลไกที่มีผลต่อการทำหน้าที่ของร่างกาย. *Srinakariwirot Journal of Pharmaceutical Sciences* 10(1): 58-66.
- ลักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สุวิมล กิริติพิบูลย์และสมเดือน หริรัตน์เสรี. 2538. การสกัดแครโรทีนอยด์จากเปลือกส้มเขียวหวาน *Citrus reticulata* Blanco. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาประมง วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ การจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม**, 30 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2538.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2529. **วัตถุเจือปนอาหาร 2**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 182 น.
- Aoki, H., Kieu, N.T., Kuze, N., Tomisaka, K. and Van Chuyen, N. 2002. Carotenoid pigments in gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 66(11): 2479-2482.
- Breithaupt, D.E. 2004. Simultaneous HPLC determination of carotenoids used as food coloring additives: applicability of accelerated solvent extraction. *Food Chemistry* 86(3): 49-456.

- Burri, B.J. 2002. Lycopene and human health. In **Phytochemicals in nutrition and health**, Meskin, M.S, Bidlack, W.R, Davies, A. and Omaye (Eds.), CRC Press, Boca Raton, 157-172.
- Charanjit, K., George binoy, Jaggi seema and H. C. Kapoor. 2007. Viscosity and quality of tomato juice as affected by processing methods. **Food quality**. 30: 864-877.
- Deming, D.M., Boileau, T.W.-M., Heintz, K.H., Atkinson, C.A. and Erdman, J.W. 2005. Carotenoids in human health and disease In **Handbook of antioxidants, revised and expanded**. 2nd ed., Cadenas, E. and Packer, L. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Dutta, D., Chaudhuri, U.R. and Chakraborty, R. 2005. Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. **African Journal of Biotechnology** 4(13): 1510-1520.
- Engin Demiray, Yahya Tulek, Yusuf Yilmaz. Degradation kinetics of lycopene, b-carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. **LWT - Food Science and Technology**. 50 (2013) 172-176.
- Francisco Delgado-Vargas and Octavio Paredes-Lopez. 2003. **Natural colorants for food and nutraceutical uses**. CRC Press , Boca Raton.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S. and Chiewchan, N. 2013. Structural modification by different pretreatment methods to enhance microwave-assisted extraction of β -carotene from carrots. **Journal of Food Engineering** 115:190-197.
- Ishida, B.K., Turner, C., Chapman, M.H. and McKeon, T. 2004. Fatty acid and carotenoid composition of gac (*Momordica cochinchinesis* Spreng) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 52(2): 274-279.
- Levin G. and Mokady S. 1994. Antioxidant activity of 9-cis compared to all-trans beta-carotene in vitro. **Free Radical Biology and Medicine** 17(1): 77-82.
- Verma, S.C., Nigam, N., Jain, C.L, Pant, P. and Padhi, M.M. 2011. Microwave-assisted extraction of gallic acid in leaves of eucalyptus X hybrid maiden and its quantitative determination by HPLC. **Der Chemica Sinica** 2(2): 268-277.

- Vuong, L.T., Franke, A.A., Custer, L.J. and Murphy, S.P. 2006. *Momordica cochinchinesis* Spreng (gac) fruit carotenoids reevaluated. **Journal of Food Composition and Analysis** 19(6-7): 664-668.
- Tran, T.H. 2007. **Production of carotenoid-rich powder from Gac fruit**. Master Dissertation, University of Western Sydney, Sydney, Australia: 85-91.
- Tran, T.H., Nguyen, M.H., Zabaras, D., VuProcess, L.T.T. 2008. Development of Gac powder by using different enzymes and drying techniques. **Journal of Food Engineering** 85(3):359-365.
- Trusheva, B.; D. Trunkov. and V. Bankova. 2007. Different extraction methods of biologically active components from propolis: a preliminary study. **Chemistry Central Journal**. 1:13.



ภาคผนวก ก. ภาพภาพผนวก



ภาพที่ 8 ผลฟักข้าวที่ผ่านการผ่าครึ่ง



ภาพที่ 9 เมล็ดฟักข้าว



ภาพที่ 10 การคั้นเมล็ดพริกขี้หนู





รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว
Production of Natural Food Colorant from Gac Aril

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2556

จำนวน 100,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นางสาวหยาดฝน ทนงการกิจ

ผู้ร่วมโครงการ

นายพูนพัฒน์ พูนน้อย

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

26 กย. 57

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเชื้อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (Production of Natural Food Colorant from Gac Aril) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2556 ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่และอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัย

