ผลของกระบวนการต่อสมบัติทางกายภาพและปริมาณแคโรทีนอยด์ในสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

Effect of Processing on Physical Property and Carotenoid Content in Natural Food Colorant from Gac aril

หยาดฝน ทนงการกิจ*, กาญจนา นาคประสม และนักรบ นาคประสม

Yardfon Tanongkankit*, Kanjana Narkprasom and Nukrob Narkprasom

บทคัดย่อ

เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติ เนื่องจากมีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนซึ่งเป็นสารที่มีสีส้มแดงอยู่ปริมาณสูง แต่อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติอาจทำให้เกิดการสูญเสียสารทั้งสองและสีในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติซึ่งได้แก่ ขั้นตอนการเอาเมล็ดออก (1. การใช้มือ 2. การอบแห้งบางส่วน และ 3.การใช้เอนไซม์) และการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของเบต้าแคโรทีนไลโคปีนและสีในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยผลการศึกษาพบว่า การใช้เอนไซม์ช่วยในการเอาเมล็ดออกทำให้ได้ร้อยละของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมากกว่าวิธีการใช้มือและการอบแห้งบางส่วน และขั้นตอนของการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือและการใช้เอนไซม์มีปริมาณเบต้าแคโรทีนไลโคปีนมากกว่าการอบแห้งบางส่วน ในขณะที่สีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านกระบวนการเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าทั้งเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนมีปริมาณลดลงหลังจากการอบแห้ง โดยเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนลดลงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการอบแห้งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้งหมดที่ได้ การเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้เอนไซม์และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ร้อยละของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนสูงสุด

คำสำคัญ: สีผสมอาหาร ฟักข้าว เบต้าแคโรทีนไลโคปีน

ABSTRACT

Gac aril has been reported as a potential raw material for food colorant. 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 (1. manual seed removal 2. partial drying and 3. enzyme treatment) and drying on the changes of β-carotene, lycopene and 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 retention than partial drying method. All removing seed methods did not have any significant effect on changes of color in Gac aril. Both β-carotene and lycopene significantly degraded during drying because the higher drying temperature caused 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.

*yardfon@hotmail.com

อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

Keywords: Natural colorant, Gac, β-carotene, Lycopene

บทนำ

สีของอาหารเป็นลักษณะทางกายภาพประการแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการเลือกและยอมรับอาหารนั้นๆ เนื่องจากเป็นสิ่งแรกที่สัมผัสได้ด้วยตาก่อนจะรับรู้ถึงลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติของอาหาร สีของอาหารนอกจากจะมีประโยชน์เพื่อดึงดูดผู้บริโภคแล้วยังเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของอาหารได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้เองทำให้ผู้ผลิตและแปรรูปอาหารพยายามทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีสวยงามและสม่ำเสมอด้วยการเติมสีลงไป [1] สีผสมอาหารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่เป็นสีผสมอาหารสังเคราะห์เนื่องจากมีราคาถูกและให้ความสม่ำเสมอของสีที่ดี แต่ผลที่ตามมาจากการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์นั้นก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาวได้ ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะลดการใช้สีสังเคราะห์คือการกลับมาใช้สีผสมอาหารจากธรรมชาติที่หาได้ง่ายตามท้องถิ่นซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อทั้งสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ การผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติสามารถผลิตได้จากทั้งพืชและสัตว์ ยกตัวอย่างเช่นสีผสมอาหารสีเขียวผลิตได้จากใบเตย ใบย่านางและใบตะไคร้ สีม่วงแดงได้จากหัวบีท มะเขือเทศ กระเจี๊ยบและรังครั่ง สีน้ำเงินได้จากดอกอัญชัญ และสีเหลืองได้จากขมิ้นชัน แครอท ฟักทอง ฟักข้าว และดอกคำฝอย เป็นต้น

ฟักข้าว หรือ Gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng) เป็นผักพื้นบ้านที่มีมานานในชนบททั่วทุกภาคของประเทศไทย และมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ละท้องถิ่น เช่นจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดตาก เรียกผักข้าว จังหวัดแพร่ เรียก มะข้าว จังหวัดปัตตานี เรียก ขี้กาเครือ และจังหวัดในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียก ฟักค้าว เป็นต้น ฟักข้าวเป็นพืชวงศ์เดียวกับแตงกวาและมะระ เป็นไม้เถาเลื้อย ผลอ่อนมีสีเขียว เปลือกมีหนามและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส้ม แดง เมื่อผลสุกตามลำดับ [1] ตั้งแต่อดีตมีการนำใบอ่อน ยอดอ่อนและผลอ่อนของฟักข้าวไปประกอบอาหาร เช่นแกงส้ม แกงเลียงหรือนำไปนึ่งหรือลวกให้สุกเพื่อรับประทานร่วมกับน้ำพริก [2, 3] และในปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงานที่พบว่าในเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีแดงของฟักข้าวมีสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น กรดไขมันจำเป็นที่มีส่วนช่วยทำให้ร่างกายทำงานได้ปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ ได้แก่ ไลโคปีนซึ่งมีปริมาณมากกว่ามะเขือเทศ 12 เท่า และเบต้าแคโรทีน มีปริมาณมากกว่า แครอทถึง 10 เท่า [1, 4] ซึ่งสารกลุ่มแคโรทีนอยด์นี้เองที่ทำให้ฟักข้าวมีสีส้มแดง

แคโรทีนอยด์เป็นสารรงควัตถุสีเหลืองแดง สามารถละลายในไขมันได้ ประกอบไปด้วยคาร์บอน 40 อะตอม มีไอโซพรีน 8 หน่วย และพันธะคู่ของคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดสี [5] แคโรทีนอยด์มีหลายร้อยชนิดที่สามารถตรวจพบในธรรมชาติ แต่มีเพียง 24 ชนิดที่พบในอาหารเช่น เบต้าแคโรทีน เบต้าคริปโตแซนทีน ไลโคปีน ลูเตอีน และ ไวโอลาแซนทีน [6] ในอุตสาหกรรมยาและอาหารสุขภาพนิยมใช้แคโรทีนอยด์ในการเพิ่มสีให้แก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสีที่ได้จากแคโรทีนอยด์มีความคงตัวค่อนข้างสูงและยังมีสารอาหารและสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีงานวิจัยทางการแพทย์รายงานว่า แคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งปอด มะเร็งกระเพาะอาหารและมะเร็งปากมดลูก เป็นต้น โรคเบาหวานและโรคหัวใจ [7] แคโรทีนอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยามีราคาสูงถึงประมาณกิโลกรัมละ 5,000-100,000 บาท เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการผลิตเบต้าแคโรทีนโดยวิธีการสังเคราะห์ซึ่งมีราคาที่ถูกกว่าเบต้าแคโรทีนที่สกัดจากธรรมชาติ แต่ผู้บริโภคทั่วไปให้ความสนใจและยอมรับเบต้าแคโรทีนที่มาจากธรรมชาติมากกว่า ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการพึ่งพาจากต่างประเทศจึงได้มีการศึกษาถึงกระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากเบต้าแคโรทีนในวัตถุดิบต่างๆ อย่างหลากหลาย [8]

กระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากฟักข้าวจะเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นซึ่งได้แก่การล้าง หั่นผลฟักข้าว และเอาเมล็ดออกโดยเก็บส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเมล็ดไว้ ซึ่งขั้นตอนนี้ช่วยลดการใช้พลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเป็นกระบวนการต่อไป การ

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

เอาเมล็ดออกจะต้องทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดติดไปกับเมล็ดน้อยที่สุด การเอาเมล็ดออกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเอาเมล็ดออกด้วยมือ การอบแห้งบางส่วนแล้วเอาเมล็ดออกด้วยมือ การใช้เอนไซม์ช่วยย่อย เป็นต้น โดยในกระบวนการผลิตอาหารส่วนใหญ่มักจะนำเอาเอนไซม์เพคติเนสมาใช้ในการช่วยย่อยผักผลไม้หลายชนิด เนื่องจากเอนไซม์เพคติเนสสามารถย่อยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในผักและผลไม้ได้ดังนั้นในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่งมีองค์ประกอบหลัก เช่นเดียวกับผักและผลไม้ การใช้เอนไซม์เพคติเนสช่วยย่อยจะทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวหลุดออกมาจากเมล็ดได้ง่ายขึ้นโดยจากรายงานที่ผ่านมามีการศึกษาการใช้เอนไซม์ในการช่วยย่อยและเพิ่มปริมาณผลผลิตกันอย่างแพร่หลาย ดังเช่นในงานวิจัยของ Kohli และ Gupta (2015) [9] ที่ได้รายงานว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสช่วยย่อยเปลือกมะนาวส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันจากมะนาวที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้น และ Kha และคณะ (2014) [10] ได้รายงานว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสช่วยเพิ่มปริมาณของน้ำมันฟักข้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส ที่ร้อยละ 0.1 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

หลังจากผ่านกระบวนการเอาเมล็ดออกแล้ว ก็จะนำเอาส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดไปอบแห้งจนความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 6.4 ฐานแห้ง ก่อนนำไปบดเป็นผง [4] ซึ่งจะเห็นได้ในระหว่างกระบวนการผลิตวัตถุดิบจะต้องผ่านทั้งกระบวนการทางกลเช่น การบด การหั่น และกระบวนการทางความร้อนเช่น การอบแห้ง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพทางกายภาพและทางโภชนาการของสีผสมอาหารธรรมชาติลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตสีผสมอาหารจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหลือเมื่อผ่านกระบวนการผลิต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การศึกษาผลของวิธีการเอาเมล็ดออกต่อคุณภาพของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการเอาเมล็ดออก 3 วิธีการ ได้แก่

1.1 การใช้มือ

ล้างผลฟักข้าวด้วยน้ำสะอาดและผ่าครึ่งผลฟักข้าว จากนั้นควักเมล็ดฟักข้าวออกจากผลและนำไปคั้นเอาเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผ่านผ้าขาวบางเก็บไว้เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

1.2 การอบแห้งบางส่วนก่อนการใช้มือเอาเมล็ดออก ตามวิธีของ Vuog และ King (2003) [8]

นำเมล็ดฟักข้าวมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นแยกเมล็ดและเยื่อหุ้มเมล็ดออกโดยใช้มือแกะออก เก็บส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดไว้เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

1.3 การใช้เอนไซม์เพคติเนสที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามวิธีของ Tran และคณะ (2008) [4]

นำเมล็ดฟักข้าวจำนวน 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์เพคติเนส (500 unit activity, Fluka, Germany) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาณ 1 มิลลิลิตรลงไปในบีกเกอร์ และนำไปบ่มไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำไปคั้นเอาเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผ่านผ้าขาวบางเก็บไว้เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2. ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยลมร้อนที่ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

นำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ได้จากข้อ 1.3 มาวางกระจายให้เต็มถาด จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, 500/108l, Germany) ที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 10 ฐานแห้ง ในระหว่างการอบแห้งทำการสุ่มตัวอย่าง 3-5 กรัม ออกมาเพื่อหาความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้ง

3. การทดสอบคุณภาพทางด้านสี

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

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

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

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

โดยที่ L_0, a_0, b_0 เป็นค่าสีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสด

4. การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน

ดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนตามวิธีของ Britton (1995) [11] โดยนำตัวอย่างสด 5 กรัมหรือตัวอย่างแห้ง 3 กรัม ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายอะซิโตนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นผสมสารทั้งหมดให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex-mixed เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปเหวี่ยงแยกชั้นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,100 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และทำการสกัดอีกครั้ง นำสารสกัดที่รวมกันแล้วไปประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นละลายเบต้าแคโรทีนที่สกัดได้ด้วยอะซิโตรไนไตร 2 มิลลิลิตรและกรองด้วย syringe filter รูกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร เพื่อเตรียมไว้วิเคราะห์ปริมาณเบต้า-แคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยด้วยเครื่อง HPLC ใช้สภาวะตามคู่มือของคอลัมน์ Zorbax Eclipse C_{18} 5 μL (4.6 ×150 mm) ที่ใช้ในการทดลองโดยปริมาณสารที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ คือ 10 ไมโครลิตร อัตราการไหลของสาร คือ 1.5 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ดีเทคเตอร์แบบแสง UV ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร อุณหภูมิคอลัมน์ขณะที่ทำการวิเคราะห์ คือ 30 องศาเซลเซียส ตัวทำละลายเคลื่อนที่เป็นเมทานอลและน้ำในอัตราส่วน 90:10

5. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน แต่ความยาวคลื่นของเครื่อง UV ดีเทคเตอร์เป็น 280 นาโนเมตร

6. การศึกษาการนำสีผสมอาหารจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไปประยุกต์ใช้

นำผงของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ได้จากการอบแห้งและปั่นละเอียดจำนวน 10 กรัมละลายในน้ำ 50 มิลลิลิตร กรองเอาส่วนเยื่อทิ้งไป และนำผงสีผสมอาหารสังเคราะห์ (ตราหยดน้ำ สีส้มแดง) 0.1 กรัม ละลายในน้ำ 50 มิลลิลิตรเช่นเดียวกัน จากนั้นนำสีทั้งสองชนิดไปผสมกับแป้งมัน 100 กรัม แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าสี ในการย้อมสีวุ้น ทำการเตรียมสีผสมอาหารทั้งสองชนิดเช่นเดิม แล้วนำไปผสมกับผงวุ้น 5 กรัม เติมน้ำลงไปอีก 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้ม ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าสี

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

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

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของวิธีการเอาเมล็ดออกต่อคุณภาพของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ผลการศึกษาวิธีการเอาเมล็ดออกซึ่งได้แก่ การใช้มือ การอบแห้งบางส่วนและการใช้เอนไซม์เพคติเนส ต่อร้อยละของน้ำหนักเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแสดงใน Table 1 พบว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสทำให้ร้อยละน้ำหนักของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสูงกว่าวิธีการใช้มือ และการอบแห้งบางส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเอนไซม์เพคติเนสช่วยย่อยส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่ง

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

มีเพคตินเป็นองค์ประกอบให้หลุดออกจากเมล็ดได้มากขึ้น [4]

ผลของปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือ การอบแห้งบางส่วนการใช้เอนไซม์เพคติเนสแสดงใน Table 2 พบว่า ปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเมื่อผ่านขั้นตอนการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการอบแห้งบางส่วนมีค่าน้อยที่สุด ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านวิธีการใช้มือ และการใช้เอนไซม์นั้นมีปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนเอาเมล็ดออกนั้นทำให้เบต้าแคโรทีนและไลโคปีนเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Engin และคณะ (2013) [12] ที่รายงานว่า เกิดการลดลงของปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในมะเขือเทศที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ในขณะที่การใช้มือและการใช้เอนไซม์นั้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไม่ผ่านความร้อนหรือผ่านความร้อนในระดับต่ำ ทำให้ยังคงมีปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนอยู่ปริมาณมากกว่า โดยที่สีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านกระบวนการเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (แสดงใน Table 3)

Table 1 Gac aril yield after seed removal using different methods

Method	Gac aril yield (%)
Manual seed removal	10.39±3.05[a]
Partial drying	10.60±2.17[a]
Enzyme treatment	49.21±0.47[b]

Remark: [a,b] Same letters in the same column indicate that the values are not significantly different (p>0.05).

Table 2 β-carotene and lycopene content in Gac aril after seed removal using different methods

Method	β-carotene (mg/g dry weight)	Lycopene (mg/g dry weight)
Manual seed removal	197.75±19.64[b]	270.19±15.75[b]
Partial drying	167.54±14.61[a]	248.34±21.22[a]
Enzyme treatment	210.38±20.30[b]	262.64±17.04[b]

Remark: [a,b] Same letters in the same column indicate that the values are not significantly different (p>0.05).

Table 3 Color of Gac aril after seed removal using different methods

Method	*L**	*b**	*a**
Manual seed removal	43.51 ± 2.43[a]	26.56 ± 1.29[a]	18.15 ± 3.05[a]
Partial drying	41.29 ± 1.91[a]	27.81 ± 2.57[a]	20.58 ± 2.46[a]
Enzyme treatment	44.03 ± 2.55[a]	25.18 ± 3.12[a]	19.88 ± 3.40[a]

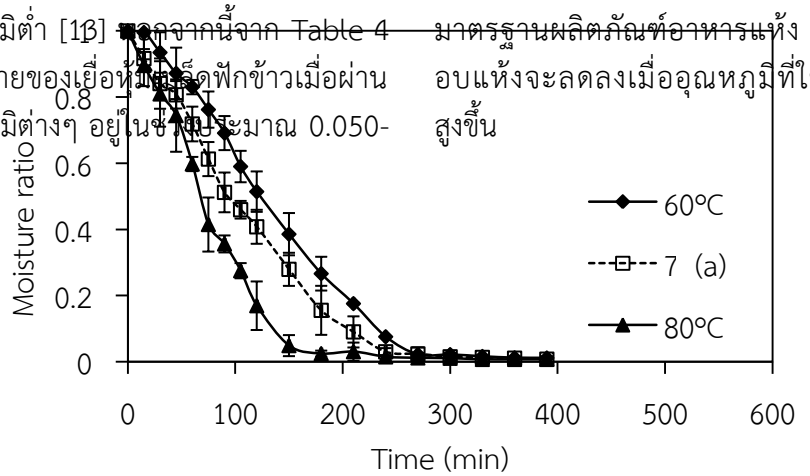
Remark: [a] Same letters in the same column indicate that the values are not significantly different (p>0.05).

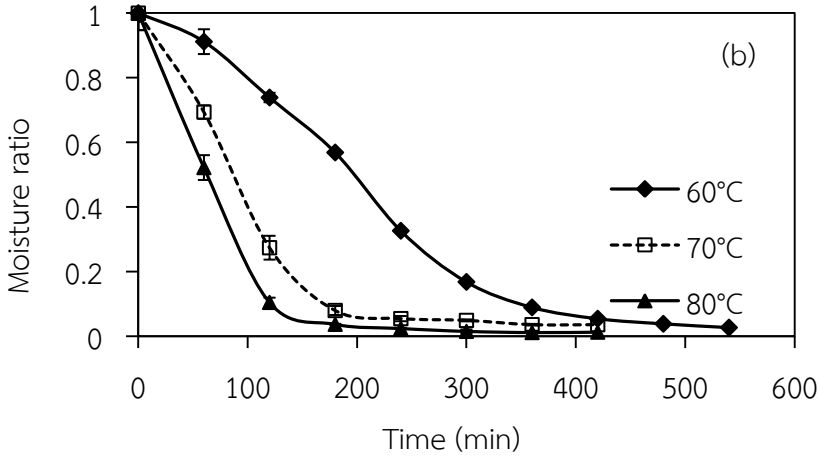
2. ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อคุณภาพของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

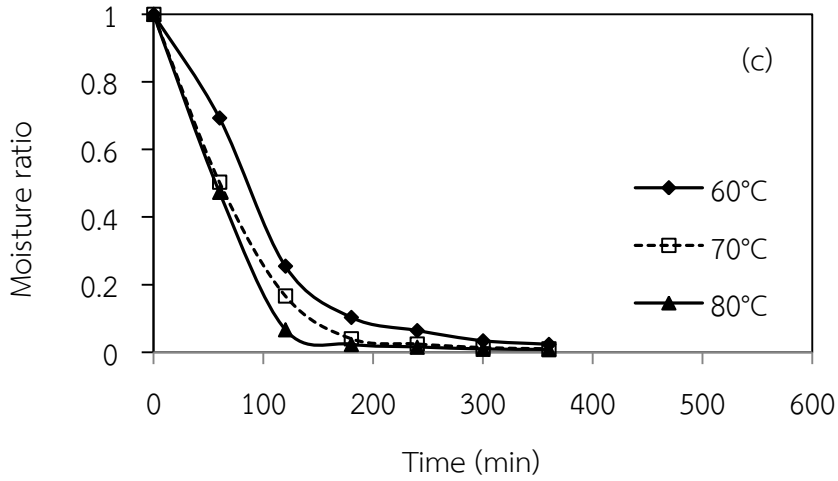
ความชื้นเริ่มต้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือ การอบแห้งบางส่วนและการใช้เอนไซม์เท่ากับ 4.85±0.72 4.07±0.19 และ 3.92±0.31 กรัม/กรัมตัวอย่างอย่างแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีนั้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าความชื้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาการอบแห้งนานขึ้น และอัตราการลดลงของความชื้นในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น (แสดงใน Figure 1) ทั้งนี้เนื่องจากว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิด driving force ในการถ่ายเทมวลและความร้อนสูงขึ้นทำ

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

ให้การแพร่ของความชื้นจากตัวอย่างมีค่ามากขึ้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ [13] จากนี้จาก Table 4 พบว่าความชื้นสุดท้ายของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ อยู่ในช่วงประมาณ 0.050-0.089 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น







*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

Figure1 Moisture ratio of Gac aril after seed removal using (a) manual seed removal (b) partial drying and (c) Enzyme treatment methods

Table 4 Moisture content of Gac after drying at different temperatures

Method	Drying temperature (°C)	Final moisture content (g/g dry weight)	Drying time (min)
Manual seed removal	60	0.060±0.010[a]	330
	70	0.065±0.009[a]	300
	80	0.050±0.004[a]	270
Partial drying	60	0.089±0.013[b]	360
	70	0.088±0.003[b]	330
	80	0.082±0.011[b]	300
Enzyme treatment	60	0.065±0.026[a]	240
	70	0.083±0.013[b]	210
	80	0.080±0.009[b]	180

Remark: [a,b] Same letters in the same column indicate that the values are not significantly different (p>0.05).

ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวหลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส แสดงใน Table 5 จากผลการศึกษาพบว่าทั้งปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนลดลง เมื่อการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนมีค่าน้อยลง ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจากว่าการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ตามธรรมชาติในผักและผลไม้ และเป็นเอนไซม์ที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา oxidative degradation ของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน ซึ่งจะเปลี่ยนเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนให้อยู่ในรูปอื่นที่ไม่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [14] โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสนี้สามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเกิดการเสียสภาพโปรตีน (denaturation) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส [15] ดังนั้นในช่วงแรกของการอบแห้งที่อุณหภูมิในตัวอย่างค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้ช่วยเร่งปฏิกิริยา oxidative degradation ให้เร็วขึ้น นอกจากนี้เบต้าแคโรทีน และ ไลโคปีนยังสามารถสลายตัวได้เนื่องจากความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดการสลายตัวจากความร้อนได้มากขึ้น

Table 5 β-carotene and lycopene in dried Gac aril at different drying temperatures

Method	Drying temperature (°C)	β-carotene	%Retention	Lycopene	%Retention
Manual seed removal	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]
Partial drying	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]

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

Enzyme	60	180.60±15.79[c]	85.84±1.58[c]	201.74±9.39c	76.81±2.07[c]
treatment	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]

Remark: [a,b,c] Same letters in the same column indicate that the values are not significantly different (p>0.05).

จาก Table 6 เมื่อพิจารณาจากค่าสีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอาเมล็ดออกทั้ง 3 วิธีและผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ค่าความสว่าง *L** ของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการอบแห้งทุกสภาวะการทดลองมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าความสว่างก่อนการอบแห้ง ในขณะที่ค่า *a** และ *b** ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงความเป็นสีแดงและสีเหลืองนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับค่า a* และ b* ของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวก่อนการอบแห้ง นอกจากนี้จากผลการศึกษายังพบว่า วิธีการเอาเมล็ดออกและอุณหภูมิการอบแห้งไม่ส่งผลต่อค่า *L** *a** และ *b** อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าปริมาณของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนจะลดลงหลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ แต่ความชื้นในตัวอย่างที่ลดลงกลับส่งผลให้ความเข้มข้นของสีมีค่ามากขึ้นทำให้ค่าสี a* และ b* ที่วัดได้ไม่แตกต่างจากก่อนการอบแห้ง ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Guinéa และ Barrocab (2012) [16] ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อสีของฟักทองอบแห้ง ซึ่งพบว่าค่าสีแดงและสีเหลืองของฟักทองมีค่าเข้มขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส

Table 6 Color of dried Gac aril at different drying temperatures

Method	Drying temperature (°C)	*L**	*a**	*b**	ΔE
Manual seed	60	22.18±3.91[a]	27.73±1.23[b]	20.84±1.06[a]	21.59±3.67[a]
removal	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]
Partial drying	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]
Enzyme	60	23.91±2.64[a]	25.90±4.05[a]	20.84±1.06[a]	20.10±0.94[a]
treatment	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]

Remark: [a,b] Same letters in the same column indicate that the values are not significantly different (p>0.05).

3. การศึกษาการนำสีผสมอาหารจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไปประยุกต์ใช้

เมื่ออบแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแล้วนำไปทดสอบการนำไปใช้เป็นสีผสมอาหารโดยจะทำการผสมกับแป้งมันและวุ้นเพื่อตรวจสอบความสามารถในประยุกต์ใช้กับอาหารแล้วนำไปวัดค่าสีเทียบกับการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์ โดยผลที่ได้แสดงดัง Table 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสีผสมอาหารที่ได้จากฟักข้าวเมื่อนำไปใช้กับแป้งมันแล้วให้ค่าสีที่น้อยกว่าการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำไปผสมกับวุ้นพบว่า สีที่ได้จากการใช้สีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและสีผสมอาหารสังเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกัน (สามารถพิจารณาจาก Figure 2 และ 3)

สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่งได้แก่ วิธีการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้มือ การอบแห้งบางส่วนก่อนการใช้มือ และการใช้เอนไซม์เพคติเนส และการอบแห้ง

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

ที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของร้อยละของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ปริมาณเบต้าแคโรทีน ปริมาณไลโคปีน และสีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยในการทดลองพบว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสให้ค่าร้อยละของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 49.21±0.47 โดยที่การใช้มือและการอบแห้งบางส่วนมีค่าร้อยละของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเท่ากับ ร้อยละ 10.39±3.05 และ 10.60±2.17 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนหลังการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการอบแห้งบางส่วนนั้นมีค่าน้อยที่สุด คือ 210.38±20.30 และ 262.64±17.04 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง แต่สีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวหลังจากเอาเมล็ดออกทั้งสามวิธีนั้นไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ

นอกจากนี้ผลของการอบแห้งนั้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนลดลง โดยการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นั้นมีปริมาณของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนสูงสุด รองลงมา คือ อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิการอบแห้งนั้นไม่ส่งผลต่อค่าสีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาทั้งหมดการเอาเมล็ดออกด้วยวิธีการใช้เอนไซม์และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ร้อยละของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนสูงสุด โดยการประยุกต์ใช้สีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยผสมในแป้งมันและวุ้นพบว่า มีการย้อมติดสีที่ดีแต่อาจมีสีไม่สดเท่ากับการใช้สีผสมอาหารสังเคราะห์

Table 7 Color of tapioca starch and agar mixed with natural colorant from Gac aril and synthetic colorant

Materials	Colorant	*L**	*a**	*b**
Tapioca starch	Gac aril	64.23±2.16[a]	15.92±2.84[a]	16.90±2.19[a]
	Synthetic	58.89±3.07[b]	22.66±2.11[b]	20.95 ±1.74[b]
Agar	Gac aril	40.28±3.32[b]	25.83±1.86[b]	19.20±2.83[a]
	Synthetic	46.09±2.58[b]	24.59±2.27[b]	16.90±1.82[a]

[a,b] Same letters in the same column indicate that the values are not significantly different (p>0.05).

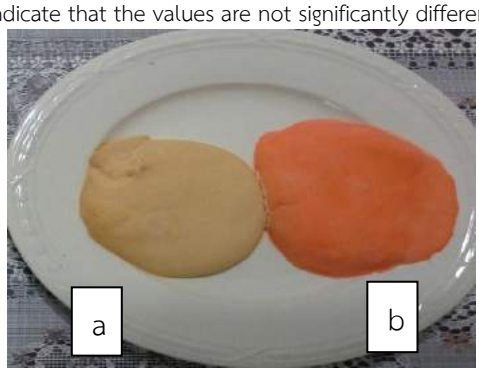


Figure 2 Tapioca starch with natural colorant from (a) Gac aril and (b) synthetic colorant

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณ ยงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, F Mai

a b

Figure 3 Agar with natural colorant from Gac aril and synthetic colorant

เอกสารอ้างอิง

[1] ประภัสสร สุขสุทธิ์. (2554). การแปรรูปฟักข้าว. เกษตรก้าวหน้า. 24(3): 43-53.

[2] รัตนพงษ์ จันทะวงษ์. (2554). “ฟักข้าว” ผักพื้นบ้านอันทรงคุณค่า. เกษตรก้าวหน้า. 24(3): 15-32.

[3] ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2552). ฟักข้าว ผักข้างรั้วที่น่าจับตามอง. วารสารอาหาร. 39(4): 318-319.

[4] Tran, T.H., Nguyen, M.H., Zabaras, D. and VuProcess, L.T.T. (2008). Development of Gac powder by using different enzymes and drying techniques. Journal of Food Engineering. 85(3):359-365.

[5] สุวิมล กีรติพิบูลย์ และสมเดือน หริรัตน์เสรี. (2538). การสกัดคาโรทีนอยด์จากเปลือกส้มเขียวหวาน *Citrus reticulata* Blanco. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาประมง วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ การจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 30 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2538.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Vuong, L.T. and King, J.C.A. (2003). Method of preserving and testing the acceptability of gac fruit oil, a good source of beta-carotene and essential fatty acids. Food and Nutrition Bulletin. 24(2): 224-30.

[9] Kohli, P. and Gupta, R. (2015). Alkaline pectinases: A review. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 4 (3): 279–285.

[10] Kha, T.C., Phan-Tai, H. and Nguyen, M.H. (2014). Effects of pre-treatments on the yield and carotenoid content of Gac oil using supercritical carbon dioxide extraction. Journal of Food Engineering. 120: 44-49.

[11] Britton, G. (1995). Structure and properties of carotenoids in relation to function. The Federation of American Societies for Experimental Biology. 9: 1551–1558.

[12] Engin, D., Yahya, T. and Yusuf, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, b-carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. LWT - Food Science and Technology. 50: 172-176.

[13] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. (2555). การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ: 344 หน้า.

[14] Baysal, T. and Demirdöven, A. (2007). Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review, enzyme microbial technology. 40: 491–496.

[15] Anthon, G.E. and Barrett, D.M. (2003). Thermal inactivation of lipoxygenase and

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai

hydroperoxytrienoic acid lyase in tomatoes. Food Chemistry. 81(2): 275–279.

[16] Guinéa, R.P.F. and Barrocab, M.J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). Food and Bioproducts Processing. 90 (1): 58-63.

*yardfon@hotmail.com
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai