วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา

Quality Changes of Herbal Vacuum Impregnated Rice during Storage

สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ[1], พิทยา ใจคำ[2*], เกตุการ ดาจันทา[1] และ อุทัยวรรณ ฉัตรธง[1]

Sirikarn Thanaboonrongkom[1],Pittaya Chaikham[2*], Katekan Dajanta[1] and Utaiwan Chattong[1]

[1] *สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*

[2]*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และการจัดการเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา*

[1]*Division of Food Science and Technology, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University*

[2]*Division of Food Science and Technology Management, Faculty of Science and Technology,*

Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

Received : 5 August 2022

Revised : 20 August 2022

Accepted : 4 September 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน กระเจี๊ยบแดง ใบเตย และดอกเก๊กฮวย โดยใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศก่อนนำไปอบแห้งให้มีค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ต่ำกว่า 0.6 แล้วบรรจุในถุงพลาสติกใสภายใต้สภาวะสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า สีของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรมีสีที่ซีดจางลงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา เห็นได้จากค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสี a^* (ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว) มีแนวโน้มลดลง ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ยังมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ในส่วนของค่ากรดไทโอบาร์บิทูริค (TBA-value) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยข้าวเสริมสารสกัดเก๊กฮวยมีค่า TBA-value สูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบ อัญชัน และใบเตย ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่ออัตราการคืนรูปของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร ($P>0.05$) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา พบว่าในสัปดาห์ที่ 12 ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และมีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g จึงกล่าวได้ว่าข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิไว้ได้อย่างน้อย 12 สัปดาห์ โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับทั้งในด้านกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยา

คำสำคัญ : ข้าว ; สารสกัดสมุนไพร ; กระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ ; การเก็บรักษา

Abstract

This research investigated the quality changes of rice incorporated with herbal extracts *viz*. butterfly pea, red okra, pandan leaf and chrysanthemum treated by vacuum impregnation before drying until the water activity (a_w) lower than 0.6. The herbal vacuum impregnated rice samples were vacuum-packed and then stored at room temperature for 12 weeks. Results showed that the color of herbal vacuum impregnated rice samples was trended to slightly decrease over the shelf life; the *L** value (lightness) increased, but the *a** value (redness/greenness) declined. The moisture content and a_w of all samples found to be have slightly rose during storage, however they still had the moisture content lower than 14% and a_w less than 0.6. Thiobarbituric acid values (TBA-values) of the samples were insignificantly trended to increase throughout the storage. Rice incorporated with chrysanthemum extract found to have the highest TBA-value followed by samples incorporated with red okra, butterfly pea and pandan leaf extracts, respectively. Moreover, it was found that the storage time had no effect on the sample's rehydration ratio ($P>0.05$). For microbiological qualities, after storage for 12 weeks, the amounts of total plate counts and yeasts-molds in all samples were lower than 10 CFU/g. Therefore, this research displayed that rice incorporated with herbal extracts by vacuum impregnation can be kept at room temperature for at least 12 weeks, while the products were still acceptable in physical, chemical and microbiological qualities.

Keywords : rice ; herbal extracts ; vacuum impregnation process ; storage

***Corresponding author. E-mail :** pittaya.chaikham@gmail.com

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรกว่า 1 ใน 5 ของประชากรโลกทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลักของข้าวยังเป็นสารอาหารสำคัญที่ให้พลังงานแก่ร่างกายอีกด้วย (Buggenhout *et al.*, 2013) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ประเทศไทยควรมีการพัฒนาปรับปรุงการแปรรูปข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหรือผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภครวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าว เพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับประเทศคู่แข่งในตลาดโลกได้ โดยข้าวเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมโภชนาการที่มีการเสริมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหรือสารต้านอนุมูลอิสระก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นการสร้างความแตกต่างและเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวได้อีกทางหนึ่ง ในปัจจุบันมีการจำหน่ายข้าวเสริมสารสมุนไพรหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นข้าวที่เคลือบด้วยสารสมุนไพร เช่น กระเจี๊ยบ ดอกอัญชัน ดอกคำฝอย และขมิ้น เป็นต้น โดยใช้กระบวนการผลิตหลายรูปแบบ เช่น วิธีการแช่ข้าวในสารสกัดพืชสมุนไพรในบรรยากาศปกติหรือการฉีดพ่นสารสกัดพืชสมุนไพรลงบนเมล็ดข้าวก่อนนำไปอบแห้งและการเคลือบสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยเครื่องเคลือบแบบกระทะหมุนและอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการผลิตข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร คือ กระบวนการ Fluidized bed (Prakotmak, 2016) โดยมีการใช้เทคนิคนี้ในการเคลือบเมล็ดข้าวด้วยสารสกัดจากพืชสมุนไพร เช่น สารสกัดจากใบเตยหอมที่มีสารประกอบที่ให้ความหอมเคลือบข้าวขาวชนิดที่ไม่มีกลิ่นให้มีกลิ่นหอมเทียบเคียงกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และมีการใช้เทคนิค Top-spray-fluidized bed coating (TS-FBC) ในการผลิตข้าวเคลือบสมุนไพร แต่การผลิตข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยวิธีเหล่านี้มีข้อด้อยคือ ใช้ระยะเวลาในการเคลือบนาน มีการฟุ้งกระจายของสารสกัดพืชสมุนไพรที่ใช้เคลือบ สารสกัดจากพืชสมุนไพรจะเคลือบอยู่เพียงบริเวณผิวของเมล็ดข้าวเท่านั้นและเกิดความไม่สม่ำเสมอของสารสกัดสมุนไพรที่เคลือบเมล็ดข้าว อีกทั้งยังส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดการเสียหายในระหว่างกระบวนการเคลือบ และการเสื่อมสภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่นำมาเคลือบเมล็ดข้าว เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนและมีการสัมผัสกับแสงและออกซิเจน (Nachaisin *et al.*, 2015)

ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ (vacuum impregnation, VI) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจและมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีในการนำสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเข้าไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนในอาหาร ทำให้สะดวกต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเริ่มต้นและมีผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรหรือเสริมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของข้าวเดิม ไม่ใช้ความร้อนและไม่สัมผัสกับออกซิเจน (direct-formulation) ซึ่งแตกต่างจากการแปรรูปแบบอื่น (Chiralt *et al.*, 2001) กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและองค์ประกอบภายในชิ้นอาหาร โดยในระหว่างการลดความดันจะทำให้ของเหลวและอากาศที่อยู่ในรูพรุนของอาหารเกิดการขยายตัว ในขณะเดียวกันจะเกิดการหดตัวของผนังเซลล์ (plasma membrane หรือ plasmalemma) ทำให้ผนังเซลล์ผิดรูปและเกิดการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ และภายใต้สภาวะความดันปกติจะเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างของเหลวและอากาศผ่านเนื้อเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (semi-permeable membrane) ระหว่างชิ้นอาหารและสารละลายออสโมติกที่ต้องการให้แทรกซึมเข้าไปในชิ้นอาหารด้วยรูปแบบการไหลแบบแคปิลลารี (capillary flow) การถ่ายโอนมวลดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) หรือปริมาณความชื้นในชิ้นอาหารและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการแทรกซึม (Zhao and Xie, 2004) จาก

จุดเด่นดังกล่าวจึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศอย่างแพร่หลาย เช่น การเติมโพรไบโอติก *Lactobacillus casei* spp. *rhamnosus* CELT 245 ลงในชิ้นแอปเปิ้ลส่งผลให้ชิ้นแอปเปิ้ลมีจำนวนของเชื้อ *L. casei* มากกว่า 10^8 CFU/g และมีปริมาณลดลงประมาณ 1 log หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน (Betoret *et al.,* 2003) หรือการเติมแคลเซียมลงในผักและผลไม้ เช่น มะเขือ แครอท และเห็ด โดยแช่ในสารละลายซูโครสที่มีการเติมแคลเซียม พบว่า มะเขือ และเห็ดมีระดับการแทรกซึมของสารละลายภายนอกสูงกว่าแครอท เนื่องจากมีรูพรุนสูงกว่า(Gras *et al.,* 2002) และการเติมจุลินทรีย์ *Bifidobacterium* spp. ลงในชิ้นฝรั่งโดยใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่ระดับความดัน 400 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้เวลาแช่ 5 นาที พบว่าชิ้นแอปเปิ้ลมีจำนวน *Bifidobacterium* spp. สูงถึง 10^7 CFU/g (Krasaekoopt & Suthanwong, 2008) และงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัยซึ่งใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในการเสริมโพรไบโอติกในผลไม้กึ่งแห้ง โดยเติมโพรไบโอติก 2 สายพันธุ์ คือ *Lactobacillus acidophillus* และ *L. casei* ลงในชิ้นแอปเปิ้ลและแคนตาลูป พบว่าชิ้นแอปเปิ้ลและแคนตาลูกมีจำนวน *L. acidophillus* และ *L. casei* สูงกว่า 10^9 CFU/g (Rongkom *et al.,* 2013)

ปัจจุบันสมุนไพรไทยกำลังเป็นที่นิยมนำมาบริโภคอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสรรพคุณทางยาสามารถใช้ได้ทั้งการบำบัดรักษาโรคและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ อาทิเช่น กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* var. *sabdariffa* Linn.) ที่เป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างมาก เนื่องจากมีสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และเฟนนิลโพรพานอยด์ รวมถึงสารสีในกลุ่มแอนโทไซยานินที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ delphinidin-3-*o*-sambubioside, cyanidin-3-*o*-sambubioside, cyaniding-3,5-diglucoside และ delphinidin รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ จึงมีคุณสมบัติช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอร์ไรด์ในเลือด ลดความดันโลหิต และต้านทานการเป็นพิษของเซลล์มะเร็ง เป็นต้น (Rongkom *et al.,* 2021) กระเจี๊ยบแดงถูกใช้เป็นส่วนผสมหรือเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ เพื่อเสริมคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ใช้เป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติแทนการใช้สีสังเคราะห์หรือใช้เป็นสารกันหืนในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด (Kruawan & Kangsadalampai, 2006) ใบเตยหอม (*Pandanus amaryllifolius*) จัดเป็นพืชสมุนไพรที่นิยมใช้เป็นสีผสมอาหารและให้กลิ่นหอมในอาหาร โดยใบเตยหอมเป็นแหล่งของน้ำมันหอมระเหย และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เช่น แคโรทีนอยด์ วิตามินอี คลอโรฟิลล์ linalylacctate, linalool, anthocyanin และ geraniol เป็นต้น (Nachaisin *et al.,* 2015) สารสกัดหยาบของใบเตยมีความสามารถทางชีวภาพในการป้องกันโรคอัลไซเมอร์ผ่านการยับยั้งของเอนไซม์โคลิเนสเทอเรส โดยสารที่เป็นองค์ประกอบหลักของกลิ่นใบเตยคือ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งมีลักษณะกลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และพบสาร 2AP ในใบเตยสูงกว่าในข้าวหอมหลายพันธุ์โดยเฉลี่ยถึง 10 เท่า ประเทศทางเอเชียบางประเทศมีการใช้ใบเตยร่วมในการหุงข้าวพันธุ์ธรรมดาให้มีกลิ่นเหมือนกับข้าวหอม (Thatsanasuwan *et al.,* 2013) ดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) มีรงควัตถุที่สำคัญ คือ สารแอนโทไซยานินซึ่งมีสีน้ำเงินถึงม่วง สามารถละลายน้ำได้ และเป็น สารต้านอนุมูลอิสระที่มีส่วนประกอบของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เช่น anthocyanin glycosides, pentacyclic triterpenoids, phytosterols, flavonol glycosides, kaemferol glycosides และ quercetin glycosides เป็นต้น (Rongkom *et al.,* 2021) สารแอนโทไซยานินในดอกอัญชันมีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างมาก อาทิเช่น ป้องกัน

โรคมะเร็ง ป้องกันภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ช่วยเพิ่มความสามารถในการมองเห็น เนื่องจากแอนโทไซยานินไปช่วยเพิ่มการไหลเวียนเลือดในส่วนของหลอดเลือดส่วนปลายทำให้กลไกที่ทำงานเกี่ยวกับการมองเห็นแข็งแรงขึ้น และมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรค นอกจากนั้นสารแอนโทไซยานินในสารสกัดจากดอกอัญชันมีความคงตัวต่อความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหารในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 3.2-5.2 ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหาร อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม อาหารฟังก์ชัน (functional food) ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และบรรจุภัณฑ์อาหาร จึงนิยมใช้สีจากสารสกัดดอกอัญชันเป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติแทนการใช้สีสังเคราะห์และการใช้วัตถุกันเสียที่อาจมีอันตรายต่อผู้บริโภค (Gamage *et al.,* 2021) ดอกเก๊กฮวย (*Chrysanthemum indicum* L.) มีสีเหลืองอ่อนซึ่งเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ flavonoid glycosides, quercitrin, myriscetin, chrysanthemin, adenine, choline สารประกอบฟีนอลิก และน้ำมันหอมระเหยที่มีสรรพคุณทางยา เช่น ช่วยดับพิษร้อน ขับลม ขับเหงื่อ แก้ร้อนใน ช่วยรักษาและป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ ช่วยขยายหลอดเลือดลดการเกิดหัวใจล้มเหลว รักษาโรคความดันโลหิตสูง และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรวมถึงยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ (Wu *et al.,* 2010; Youssef *et al.,* 2020) มีการนำดอกเก๊กฮวยมาผลิตเป็นชาดอกเก๊กฮวย ซึ่งสามารถช่วยลดอาการไมเกรน ต้านการอักเสบ และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Choi & Kim, 2011) หรือนำไปผลิตเป็นน้ำเก๊กฮวยที่มีองค์ประกอบของสารพอลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง (Kruawan & Kangsadalampai, 2006)

แต่อย่างไรก็ตามภายหลังจากการผลิตข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระแล้ว ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรจากกระเจี๊ยบแดง ใบเตย ดอกเก๊กฮวย และดอกอัญชันยังสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาได้ อีกทั้งข้อมูลด้านการเก็บรักษาของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรยังไม่แพร่หลายมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งผลการวิจัยที่ได้จะสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดอายุการเก็บรักษาของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1) การนึ่งข้าว

นำข้าวเจ้าขาวสายพันธุ์ กข. 31 ที่ได้รับจากวิสาหกิจชุมชนบ้านบางกระน้อย จังหวัดพิษณุโลก มาอบในตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่ความชื้นออก ก่อนนำไปแช่ในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ก่อนนำไปสะเด็ดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการสะเด็ดน้ำแล้วไปนึ่งบนน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที พักไว้ให้เย็นก่อนนำไปเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Danpikulthong *et al.,* 2017)

1.2) การเตรียมสารสกัดพืชสมุนไพร

นำดอกกระเจี๊ยบแดง ดอกอัญชัน ใบเตย และดอกเก๊กฮวย ที่ผ่านการอบแห้งแล้วโดยซื้อจากห้างแม็คโคร จังหวัดพิษณุโลก ไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Disintegrator, WF-10B, China) จนละเอียด ก่อนนำสมุนไพรที่บดแล้วไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช และแช่ผงสมุนไพรในน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนผงสมุนไพรต่อน้ำอุ่นเท่ากับ 1 ต่อ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 30 นาที ก่อนกรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้สารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดง ดอกอัญชัน ใบเตย และดอกเก๊กฮวย (Rongkom *et al.*, 2021) จากนั้นปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปเสริมในเมล็ดข้าวด้วยเทคนิคแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อผลิตข้าวเสริมสารต้าน อนุมูลอิสระจากพืชสมุนไพรต่อไป

2. การเสริมสารสกัดสมุนไพรในข้าวด้วยเทคนิคกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ

นำข้าวที่ผ่านการนึ่งและพักให้เย็นจากข้อ 1.1 จำนวน 300 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดง ดอกอัญชัน ใบเตย หรือดอกเก๊กฮวยที่สกัดได้ในข้อ 1.2 จำนวน 300 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีข้าวที่ผ่านการนึ่งแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างข้าวที่แช่ในสารสกัดสมุนไพรไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศด้วยตู้สุญญากาศ (JEIO TECH, Korea) โดยกำหนดระดับความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ และใช้ระยะเวลาการแช่ข้าวในสารสกัดสมุนไพรภายใต้ความดันสุญญากาศ (vacuum time) เป็นเวลา 20 นาที และเวลาในการแช่ข้าวในสารสกัดสมุนไพรที่ความดันบรรยากาศปกติ (relaxation time) ต่ออีก 20 นาที จากนั้นนำไปกรองแยกเอาข้าวออกจากน้ำสมุนไพร ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ จะได้ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) ต่ำกว่า 0.6 จะได้ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านการอบแห้ง (Rongkom *et al.*, 2021) ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด โดยการบรรจุข้าวในถุงพลาสติกใส (Polypropylene, PP) ภายใต้สภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส) ทำการสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ จนครบ 12 สัปดาห์ เพื่อตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศต่อไป

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา

3.1) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ

นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแล้วมา 50 กรัม บรรจุในถ้วยพลาสติกทึบแสง จากนั้นทำการวัดค่าสีระบบ Hunter CIE แสดงค่า *L** (ค่าความสว่าง), *a** (ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว) และ *b** (ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน) ด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Minolta (CR-10, Japan) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) Method 934.06 ค่า a_w โดยใช้เครื่อง AquaLab (Water Activity Metre, USA) วิเคราะห์ค่าอัตราการคืนรูป (rehydration ratio) และอัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าว (volume increase ratio) หลังการคืนรูปตามวิธีของ Cheevitsopon & Roonprasang (2013)

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ Thiobarbituric acid (TBA)

วิเคราะห์หาค่าความหืน (Thiobarbituric acid value, TBA-value) ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ตามวิธีของ Mohd-Esa *et al.* (2010) โดยนำตัวอย่างข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรมาปั่นให้ละเอียด ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นถ่ายใส่ขวดก้นกลม แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 โมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารป้องกันการเกิดฟองอากาศ (antifoaming) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และทำการกลั่นด้วยเครื่อง electric mantle จนได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร ภายในเวลา 10 นาที หลังเดือด นำของเหลวที่ได้ผสมกับสาร TBA reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปให้ความร้อนโดยต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 35 นาที และทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร ด้วยเครื่องด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Spectrophotometer evolution 201, USA) โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา

วิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาโดยตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ด้วยวิธี pour plate count ในตัวอย่างข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0 และ 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) และ Potato Dextrose Agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องปกติ ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อในช่วง 25-250 โคโลนี และคำนวณเป็นค่า CFU/g ของตัวอย่าง (BAM, 1998)

5. การวางแผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี One-Way Analysis of Variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Figure 1 Rice incorporated with 4 types of herbal extracts treated by vacuum impregnation; (A) rice incorporated with pandan leaf extract, (B) rice incorporated with chrysanthemum extract, (C) rice incorporated with red okra flower extract and (D) rice incorporated with butterfly pea flower extract.

ผลการวิจัย

ทำการผลิตข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร โดยใช้ข้าวขาวพื้นเมืองสายพันธุ์ กข. 31 และสารสกัดพืชสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ กระเจี๊ยบแดง ดอกเก๊กฮวย ดอกอัญชัน และใบเตย ด้วยเทคนิคแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยการแช่ข้าวที่ผ่านการนึ่งนาน 20 นาที ในสารสกัดสมุนไพรภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ นาน 20 นาที และแช่ภายใต้ความดันปกติ นาน 20 นาที นำไปอบแห้งในตู้อบแห้งแบบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด ดังแสดงใน Figure 1 จากนั้นศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด โดยบรรจุในถุงพลาสติกใสภายใต้สภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-35 องศา-เซลเซียส) ทำการสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ หรือ 12 สัปดาห์ เพื่อทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่าง

1. คุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษาแสดงใน Figure 2 โดยพบว่า ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 11.20 - 11.30 และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ โดยมีปริมาณความชื้นภายหลังการเก็บรักษาอยู่ในช่วงร้อยละ 11.60 ถึง 11.80 จะเห็นได้ว่าข้าวเสริมสารสกัดใบเตยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาค่า a_w ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา (Figure 3) พบว่า ค่า a_w เริ่มต้นของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ 0.38 และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ โดยทุกตัวอย่างมีค่า a_w เท่ากับ 0.43 ภายหลังการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^*, a^* และ b^* ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา (Figure 4) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสี L^* มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสี a^* ของตัวอย่างทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงซึ่งหมายถึงมีสีแดงลดลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบ อัญชัน และเก๊กฮวยมีค่า $+a^*$ แสดงว่าตัวอย่างมีสีแดง ขณะที่ข้าวเสริมสารใบเตยมีค่า $-a^*$ แสดงว่าตัวอย่างมีสีเขียว โดยเมื่อสิ้นสุดเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดใบเตย เก๊กฮวย กระเจี๊ยบและอัญชันมีค่าเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น คือ 44.03, 50.30, 50.30, 37.35 และ 38.32 ตามลำดับ เป็น 59.30, 57.57, 57.57, 43.17 และ 44.63 ตามลำดับ แสดงถึงการมีสีที่ซีดจางลงหรือมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าสี a^* ของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดใบเตย เก๊กฮวย กระเจี๊ยบ และอัญชัน มีค่าลดลงจากเริ่มต้น คือ -4.30, 0.80, 7.73 และ 1.67 ตามลำดับ เป็น -5.63, 0.70, 4.87 และ 1.33 ตามลำดับ และค่าสี b^* พบว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยตัวอย่างข้าวเสริมสารสกัดใบเตยและกระเจี๊ยบมีค่า $+b^*$ แสดงว่าตัวอย่างมีสีเหลือง ขณะที่ข้าวเสริมสารสกัดอัญชันมีค่า $-b^*$ แสดงว่าตัวอย่างมีสีน้ำเงิน

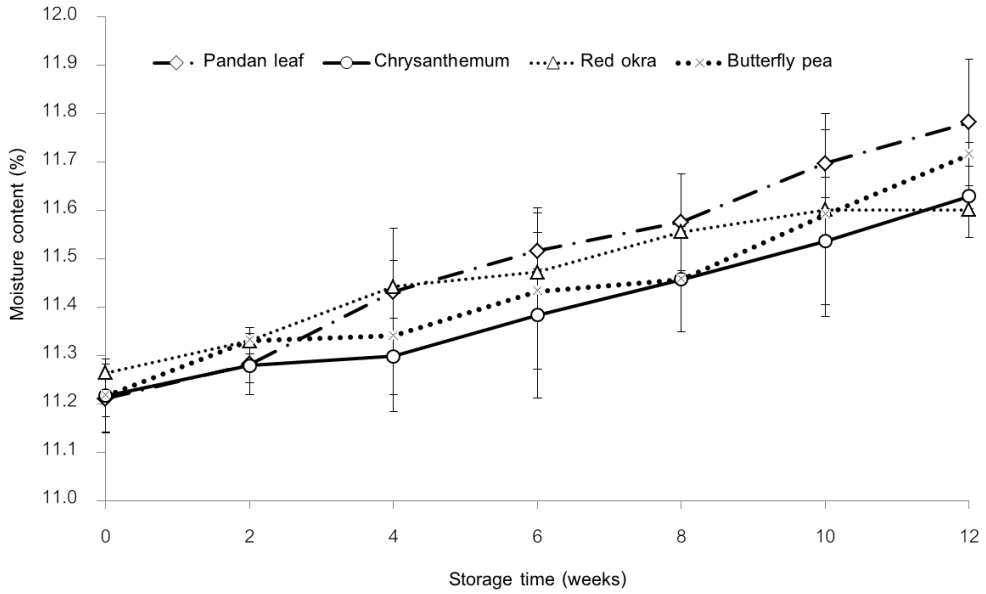

Figure 2 Changes of moisture content of rice incorporated herbal extracts treated by vacuum impregnation during storage

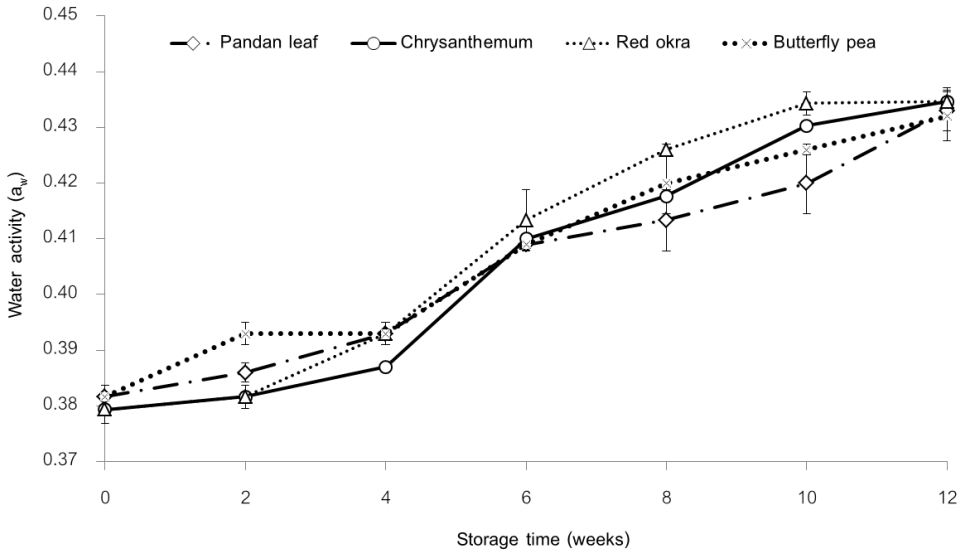

Figure 3 Changes of water activity of rice incorporated herbal extracts treated by vacuum impregnation during storage

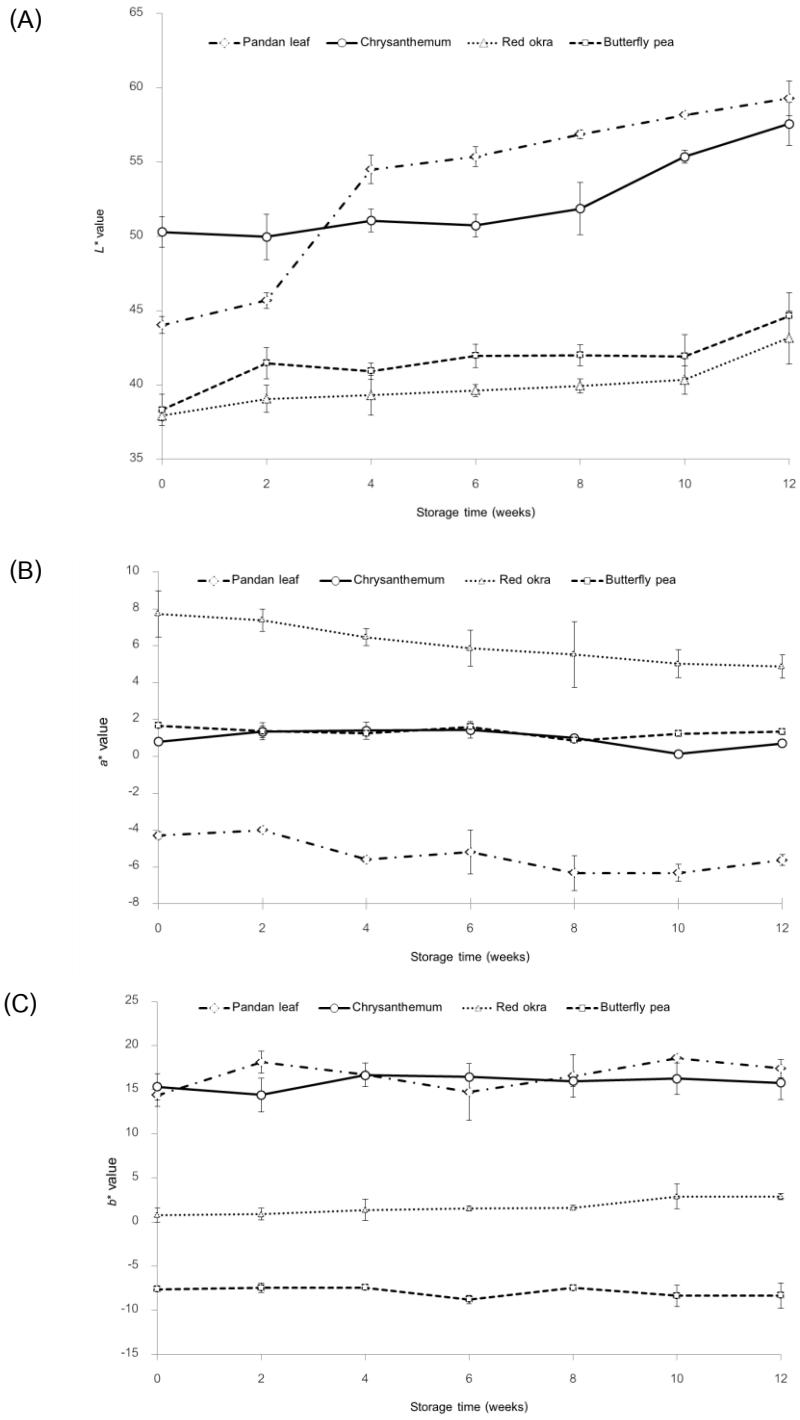

Figure 4 Changes of color parameters of rice incorporated herbal extracts treated by vacuum impregnation during storage; (A) *L** value, (B) *a** value and (C) *b** value

จาก Figure 5 แสดงค่า TBA-value ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด คือ ใบเตย กระเจี๊ยบ เก๊กฮวย และอัญชัน ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ค่า TBA-value ของข้าวเสริมสารสกัดพืชสมุนทั้ง 4 ชนิด มีค่าค่อนข้างคงที่โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา โดยข้าวที่มีการเสริมสารสกัดเก๊กฮวยมีค่า TBA-value สูงที่สุด รองลงมา คือ ข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบ อัญชัน และใบเตย ตามลำดับ โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่า TBA-value เท่ากับ 3.00, 2.02, 0.65 และ 0.43 mg MDA/kg ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นเป็น 3.09, 2.21, 0.80 และ 0.56 mg MDA/kg ตามลำดับ

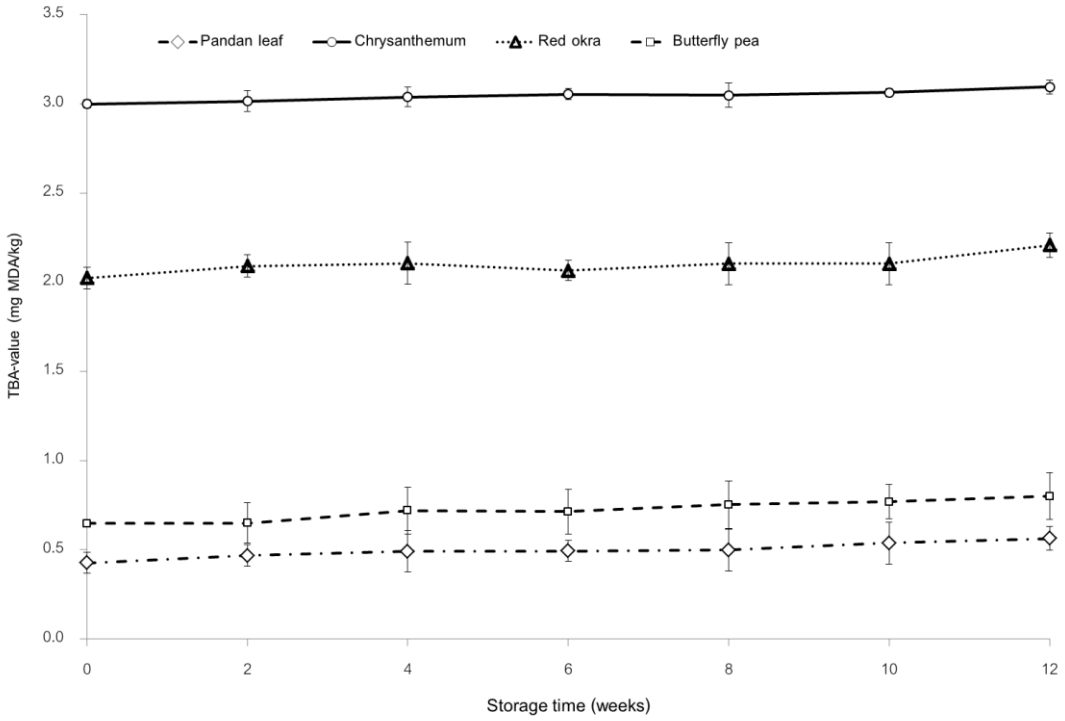

Figure 5 Changes of TBA-value of rice incorporated herbal extracts treated by vacuum impregnation during storage

จาก Figure 6 ซึ่งแสดงอัตราการคืนรูปของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่า ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิดมีอัตราการคืนรูปที่ลดลงเพียงเล็กน้อยจนกล่าวได้ว่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ไม่มีผลต่ออัตราการคืนรูปของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรมีอัตราการคืนรูปอยู่ในช่วง 4.23 ถึง 4.29 และเมื่อเก็บรักษาครบ 12 สัปดาห์ มีค่าลดลงเหลือ 4.16 ถึง 4.21 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

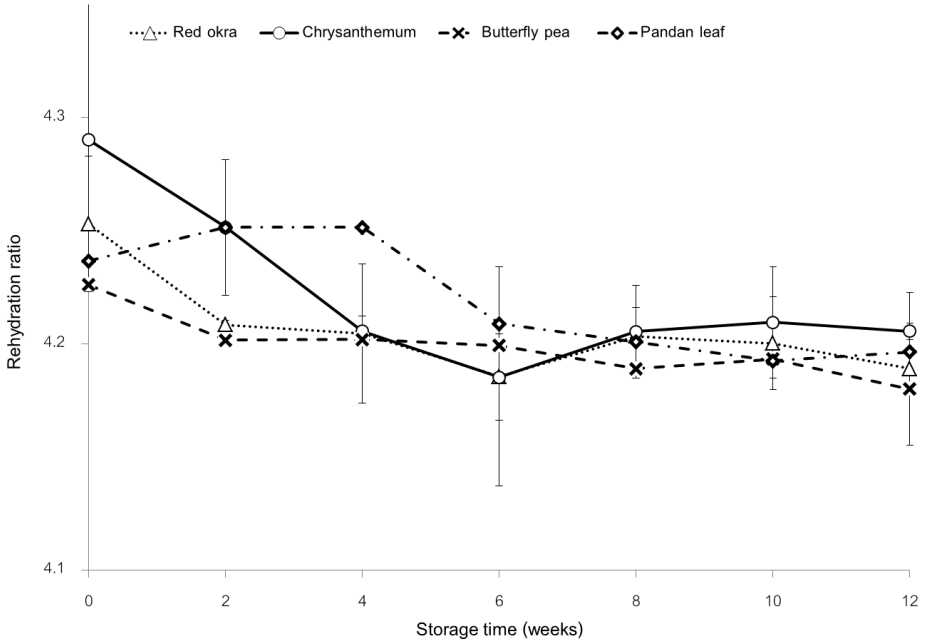

Figure 6 Changes of rehydration ratio of rice incorporated herbal extracts treated by vacuum impregnation during storage

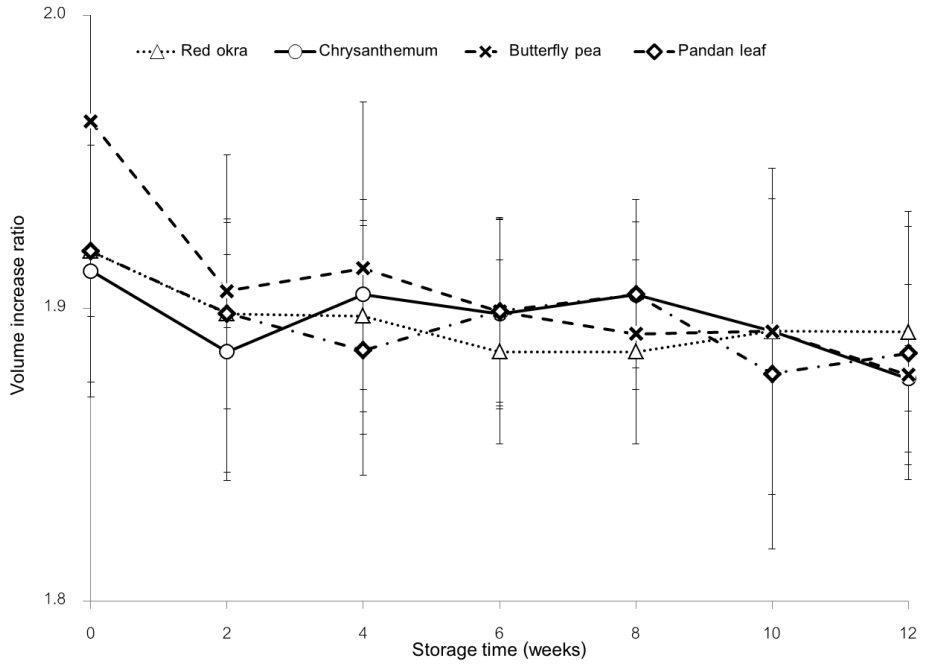

Figure 7 Changes of volume increase ratio of rice incorporated herbal extracts treated by vacuum impregnation during storage

จากการทดลองนี้ พบว่า ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีอัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าวที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ โดยวันที่ 0 ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรมีอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วง 1.90 - 1.96 และเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 12 มีอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วง 1.88 - 1.91 ซึ่งลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Figure 7)

2. คุณภาพทางจุลชีววิทยาของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา

จากการตรวจวิเคราะห์หาจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดจากสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด ในระหว่างการเก็บรักษาในถุงพลาสติกใสภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องนาน 12 สัปดาห์ พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา มีปริมาณจำนวนต่ำกว่า 10 CFU/g ตลอดอายุการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ ดังแสดงใน Table 1 ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 (Figure 3) ซึ่งต่ำกว่าปริมาณที่เชื้อแบคทีเรีย และยีสต์และรา จะสามารถเจริญและเพิ่มจำนวนได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่พัฒนาได้มีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์

Table 1 Microbiological qualities of rice incorporated herbal extracts treated by vacuum impregnation during storage at 0 and 12 weeks

Treatments	Week 0		Week 12	
	Total plate counts (CFU/g)	Yeats and molds (CFU/g)	Total plate counts (CFU/g)	Yeats and molds (CFU/g)
Control	< 10	< 10	< 10	< 10
Pandan leaf	< 10	< 10	< 10	< 10
Chrysanthemum	< 10	< 10	< 10	< 10
Red okra	< 10	< 10	< 10	< 10
Butterfly pea flower	< 10	< 10	< 10	< 10

Note : Means are obtained from 2 experiments with 3 replications ± standard deviation.

วิจารณ์ผลการวิจัย

ความชื้นถูกใช้เป็นเกณฑ์บ่งชี้ความปลอดภัยในการเก็บรักษาข้าว โดยข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ข้าวที่มีความชื้นสูงจะทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เจริญเติบโต ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น ความชื้นมาตรฐานของข้าวไทยที่อยู่เกณฑ์ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 14 (Thanasukarn *et al.*, 2021) จากการทดลองนี้พบว่า ตัวอย่างทั้งหมดมีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์

แสดงว่าข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 4 ตัวอย่าง มีความปลอดภัยต่อการนำไปบริโภค นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์หาค่า a_w ทำให้เห็นได้ชัดว่าสภาวะในการเก็บรักษาตัวอย่างโดยการบรรจุข้าวในถุงพลาสติกใสภายใต้สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนั้นมีความเหมาะสม เนื่องจากสามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำ ถึงแม้จะเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่า a_w ที่เชื้อรา ยีสต์ และจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงสามารถนำไปบริโภคและมีความปลอดภัยต่อการบริโภค (Mahattanatawee *et al.*, 2013) แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเสื่อมเสียได้จากสาเหตุอื่น ๆ อาทิเช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ข้าวเกิดกลิ่นหืน เกิดการเสื่อมสลายของแป้งข้าวตามธรรมชาติหรืออาจเกิดรอยรั่วระหว่างการขนส่งหรือจำหน่าย ทำให้ความชื้นของข้าวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียสามารถเจริญได้

ค่าสี CIE L^*, a* และ b* เป็นค่าที่นิยมในการประเมินลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่ทำการศึกษา (Hamathulin *et al.*, 2012) ค่าสี L^* แสดงถึงค่าความสว่าง โดยมีค่าระหว่าง 0 (สีดำ) ถึง 100 (สว่างมากหรือสีขาว) ขณะที่ค่าสี a^* คือค่าสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นลบ และค่าสี b^* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่าสี b^* ที่เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (Dajanta *et al.*, 2019) จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสีของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า ค่าสี L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าสี a^* มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสี b^* มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยแต่ละตัวอย่างมีเฉดสีที่แตกกันเนื่องจากรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดจากพืช เช่น ใบเตยประกอบด้วยคลอโรฟิลล์จึงให้สีเขียวในตัวอย่าง ส่วนข้าวเสริมสารสกัดเก๊กฮวยประกอบด้วยสารประกอบแคโรทีนอยด์จึงให้เฉดสีเหลือง ($+b^*$) ขณะที่ข้าวเสริมสารสกัดอัญชันประกอบด้วยแอนโทไซนินจึงให้เฉดสีน้ำเงิน ($-b^*$) ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมสลายของสารสีหรือรงควัตถุของสารสกัดสมุนไพรได้ (Soponronnarit *et al.*, 2008) Gamage *et al.* (2021) รายงานว่าสีม่วงของดอกอัญชันซึ่งเป็นสารในกลุ่มแอนโทไซยานินถึงแม้จะมีความคงตัวต่ออุณหภูมิ แต่มีความไวต่อแสง โดยในการทดลองนี้ได้บรรจุข้าวเสริมสารสกัดดอกอัญชันในถุงพลาสติกใส ซึ่งทำให้เกิดการสัมผัสกับแสงโดยตรง จึงส่งผลให้สีม่วงของเมล็ดข้าวเกิดการซีดจางลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าแอนโทไซยานินจะสลายตัวได้อย่างช้า ๆ และเป็นไปอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของผักและผลไม้และผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสลายตัวของแอนโทไซยานิน คือ ค่า pH ออกซิเจน กรดแอสคอร์บิกและโลหะไอออน และการเก็บรักษายังมีผลทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบรรจุผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ชนิดโปร่งแสงหรือใส จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปได้ สำหรับแคโรทีนอยด์การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุชนิดนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา และอาจคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเสื่อมสลาย (senescence) ของผักและผลไม้ เช่น การทำสับปะรดกระป๋อง ความร้อนในกระบวนการแปรรูปทำให้เกิดกรด ซึ่งจะเปลี่ยนแคโรทีนอยด์เป็นซิส-ไอโซเมอร์ (*cis*-isomer) ด้วย ดังนั้นระหว่างการแปรรูปผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดจะเกิดปฏิกิริยา

ไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) ของแคโรทีนอยด์ได้ และในระหว่างการเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลง (Damodaran *et al*., 2017)

TBA-value เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงระดับของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) หรือค่าการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างสาร TBA กับ malondialdehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ในการวัดการเปลี่ยนแปลง และบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยการเพิ่มขึ้นของค่า TBA-value ในระหว่างการเก็บรักษาแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น Damodaran *et al*. (2017) รายงานว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันในขั้นตอนที่ 2 คือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งไม่เสถียรและจะแตกตัวเกิดเป็นสารใหม่ (secondary oxidation products) จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น สารประกอบอัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ อัลเคน กรด เป็นต้น ทำให้เกิดสี กลิ่นและรสที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของไขมันหรือน้ำมัน โดยทั่วไป TBA-value ที่มากกว่า 3 mg MDA/kg จะทำให้ผู้บริโภครับรู้กลิ่นแปลกปลอมทางประสาทสัมผัสต่ออาหารได้ และหากมีค่ามากกว่า 7 mg MDA/kg ไขมันจะเสื่อมคุณภาพมากขึ้นและมีกลิ่นเหม็นหืนเกิดขึ้น (Chedoloh, 2017) จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างมีค่า TBA-value เริ่มต้นแตกต่างกัน อาจเป็นผลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศแต่ชนิดมีปริมาณสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน และเมื่อทำการเก็บรักษาพบว่า TBA-value ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาครบ 12 สัปดาห์ สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Thanasukarn *et al*. (2021) ที่พบว่าค่า TBA-value ของข้าวหอมมะลิแดงมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่า TBA-value อยู่ในเกณฑ์ผลิตภัณฑ์ที่สามารถบริโภคได้ คือ ไม่เกิน 5 mg MDA/kg โดยในระหว่างการเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นของค่า TBA-value ค่อนข้างน้อย ในเมล็ดข้าวจะมีไขมันที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัวเมื่อถูกทิ้งไว้เป็นเวลานาน เกิดการสัมผัสกับแสง ความร้อนจะเป็นปัจจัยกระตุ้นให้พันธะคู่ถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และเกิดกลิ่นเหม็นหืนส่งผลต่อรสชาติและคุณภาพของข้าว (Thanasukarn, *et al.,* 2021) สำหรับผลการทดลองที่ปรากฏในงานวิจัยนี้อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันถูกยับยั้งเนื่องจากการบรรจุแบบสุญญากาศ ทำให้ระบบปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยสำหรับเกิดปฏิกิริยา และอาจเกิดการชะลอการเกิดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันจากสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพืชสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มของสารประกอบพอลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดอื่น ๆ (Kruawan & Kangsadalampai, 2006; Nachaisin *et al.,* 2015; Rongkom *et al.,* 2021)

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตัดสินใจสำหรับผู้บริโภคในการบริโภคข้าว คือ การคืนรูปได้ดี ความเป็นรูพรุนและการมีรอยแตกที่ผิวเมล็ดข้าว จะช่วยในการดูดน้ำกลับหรือเกิดการคืนรูปได้ดี (Nachaisin *et al.,* 2015) จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่ออัตราการคืนรูปของตัวอย่าง ซึ่งเป็นทราบดีอยู่แล้วว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศจะใช้ระยะเวลาในการหุงต้มสั้นลงเมื่อเทียบกับข้าวสารปกติ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเตรียมข้าวด้วยการให้ความร้อนในในตู้อบลมร้อนและการนึ่งจะทำให้เกิดรอยร้าวในโครงสร้างของเมล็ดข้าวและเกิดเจลลาติไนซ์บางส่วน รวมถึง

กระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศยังส่งผลให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวเกิดรูพรุนมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนหรือเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศจากภายในและภายนอกโครงสร้างของเมล็ดข้าว เมื่อนำไปอบแห้งและนำมาคืนรูปเมล็ดข้าวจะสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าข้าวสารปกติ ทำให้ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรโดยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศใช้เวลาในการหุงต้มสั้นลง และมีความสามารถในการคืนรูปที่ดี (Mahattanatawee *et al.,* 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheevitsopon & Roonprasang (2013) ที่พบว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้ง และการนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ ก่อนนำไปอบแห้งจะได้ข้าวที่มีอัตราการคืนรูปและขยายตัวดีขึ้น เนื่องจากมีปริมาตรของพื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวและการเกิดรอยแตกร้าวบนเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น จึงสามารถดูดน้ำขณะหุงต้มได้ดีขึ้น ส่งผลให้ได้ข้าวที่มีลักษณะการคืนรูปที่ดี นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์หาอัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าวยังพบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าอัตราการขยายตัวลดลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา อัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าว คือ การขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวเมื่อข้าวสุก หลังใส่น้ำในข้าวสารและเพิ่มอุณหภูมิขึ้น ข้าวจะเกิดการยืดและขยายตัวออกทุกทิศทาง โดยเฉพาะด้านยาว ถ้าเมล็ดข้าวสุกขยายตัวและเมล็ดไม่เกาะติดกัน พื้นที่ผิวขยายตัวมากและมีน้ำให้แป้งดูดได้มากเพียงพอจะทำให้ข้าวขยายตัวได้มาก โดยอัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าวที่เหมาะสมควรมีขยายตัวได้ 1.5 - 3.00 เท่าของเมล็ดข้าว (Prasert & Suwannaporn, 2009)

จากการตรวจวิเคราะห์หาจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราในตัวอย่างในสัปดาห์ที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กลุ่มของจุลินทรีย์บ่งชี้ดังกล่าวมีปริมาณจำนวนต่ำกว่า 10 CFU/g ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างมีค่า a_w และปริมาณความชื้นต่ำกว่า 0.6 และร้อยละ 14 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และยีสต์และรา ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่พัฒนาได้มีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ (Mahattanatawee *et al*., 2013; Smanalieva *et al*., 2015) สอดคล้องกับรายงานของ Abdullah *et al.* (2000) ซึ่งกล่าวไว้ว่าผลิตภัณฑ์จากข้าวมีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานมากกว่า 6 เดือน หากมีค่า a_w ในระหว่างการเก็บรักษาต่ำกว่า 0.65

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศทั้ง 4 ชนิด สามารถเก็บรักษาในถุงพลาสติกใสภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องได้นานอย่างน้อย 12 สัปดาห์ โดยมีปริมาณความชื้นและค่า a_w เป็นไปตามค่ามาตรฐานและมีความปลอดภัยต่อการบริโภค และไม่เกิดการเหม็นหืน นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการคืนรูปที่ดีอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามสีของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีสีที่ซีดจางลงเล็กน้อย เนื่องจากมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นและค่าความเป็นสีแดงลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งองค์ความรู้ด้านการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศนี้เป็นประโยชน์อย่างมากและสามารถประยุกต์ใช้ในการพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์สำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรหรือสารสำคัญชนิดอื่น ซึ่งจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพชนิดใหม่จากข้าวต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และขอบพระคุณมหาวิทยาราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Abdullah, N., Nawawi, A., & Othman, I. (2000). Fungal spoilage of starch-based foods in relation to its water activity (a_w). *Journal of Stored Products Research, 36*(1), 47-54.

Association of Official Analytical Chemists. 2000. Official methods of analysis of AOAC International, 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, USA.

Betoret, E., Betoret, N., Arilla, A., Bennár, M., Barrera, C., Codoer, P., & Fito, P. (2012). No invasive methodology to produce a probiotic low humid apple snack with potential effect against *Helicobacter pylori*. *Journal of Food Engineering*, *110,* 289-293.

Buggenhout, J., Brijs, K., Celus, I., & Delcour, J.A. (2013). The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering, 117*, 304-315.

Chedoloh, R. (2017). Effects of packaging and shelf-life on quality and antioxidant property of defatted rice bran supplemented in raw fish crackers. *The Journal of Applied Science*, *16*(2), 47-64.

Cheevitsopon, E., & Roonprasang, K. (2013). Effect of fluidized bed drying temperature on quality of instant germinated brown rice. *Agricultural Science Journal*, *44*(2)(Suppl.), 465-468. (in Thai)

Chiralt.A., Fito, P., Barat J.M., Andrés, A., González-Martínez, C., Eacriche, I., & Camacho, M.M. (2001). Use of vacuum impregnation in food salting process. *Journal of Food Engineering,* 49, 141-151.

Choi, H.S. & Kim, G.H. (2011). Volatile flavor composition of Gamguk (*Chrysanthemum indicum*) flower essential oils. *Food Science and Biotechnology*, *20*(2), 319-325.

Dajanta, K., Chattong, U., & Rongkom, H. (2019). Color, Pigments and Antioxidant Quality of Red Yeast Rice (angkak) Fermented by Various Rice Varieties. *KKU Science Journal*, *47*(3) 468-477. (in Thai)

Damodaran, S., Parkin, K.L., & Fennema, O.R. (2017). Fennema's food chemistry. Oakville, Canada: Apple Academic Press Inc. 1107 p.

Danpikulthong, P., Dajanta, K., & Rongkom, H. (2017). Effect of steaming time and vacuum pressure level on physicochemical and antioxidant properties of vacuum impregnated rice. pp. 832-841. In The Proceeding Innovation and Technology Conference (ITC2017), 25-26 December 2017, Rajamangala University of Technology Isan Surin, Surin. (in Thai)

Gamage, G.C.V., Lim, Y.Y., & Choo, W.S. (2021). Anthocyanins from *Clitoria ternatea* flower: biosynthesis, extraction, stability, antioxidant activity, and applications. *Frontiers in Plant Science*, *12*, doi: 10.3389/fpls.2021.792303.

Gras, M., Vidal-Brotons, D., Betoret, N., Chiralt, A., & Fito, P. (2002). The response of some vegetables to vacuum impregnation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *3*, 263-269.

Hamathulin, A., Simla, S., Boontang, S., & Inchuen, S. (2012). Relationship between color value and anthocyanin content in purple waxy corn germplasm. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *40*(4), 59-64. (in Thai)

Krasaekoopt, W., & Suthanwong, B. (2008). Vacuum impregnation of probiotics in fruit pieces and their survival during refrigerated storage. *Kasetsart Journal, 42*, 723-731. (in Thai)

Kruawan K., & Kangsadalampai, K. (2006). Antioxidant activity, phenolic compound contents and antimutagenic activity of some water extract of herbs. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, *30*, 28-35.

Mahattanatawee, K., Juntarasri, K., & Sawangphop, D. (2013). Quick-cooking mixed brown rice. *Journal of Food Technology, Siam University, 8*(1), 35-46. (in Thai)

Mohd-Esa, N., Hern, F.S., Ismail, A., & Yee, C.L. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food Chemistry*, *122,* 1055-1060.

Nachaisin, M., Phonken, T., Teeta, S., & Deejing, K. (2015). The study of the quality of pandan leaves instant rice. *Journal of Research for Development Social and Community, Rajabhat Maha Sarakham University*, *2,* 72-79. (in Thai)

Prakotmak, P. (2016). Development of rice kernel coater with fluidized bed process. *The Journal of KMUTNB*, *26*(3), 385-394. (in Thai)

Prasert, W., & Suwannaporn, P. (2009). Optimization of instant jasmine rice process and its physicochemical properties. *Journal of Food Engineering*, *95*, 54-61.

Rongkom, H., Dajanta, K., Chattong, U., & Sungsub, S. (2021). Effect of vacuum and relaxation times on the quality of rice fortified with herbal plant extracts by vacuum impregnation technique. *The Journal of Applied Science*, *20*(1), 118-136.

Rongkom, H., Phianmongkhol, A., & Wirjantoro, T. I. (2013). Physical properties of impregnated cantaloupe and apple affected by different pressure levels. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*. *1*(4), 163-171.

Smanalieva, J., Salieva, K., Borkoev, B., Windhab, E.J., & Fischer, Peter. (2015). Investigation of changes in chemical composition and rheological properties of Kyrgyz rice cultivars (Ozgon rice) depending on long-term stack-storage after harvesting. *LWT - Food Science and Technology, 63*, 626-632.

Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarorn, S., Tungtakul, P., & Taechapairoj, C. (2008). Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *Journal of Food Engineering*, *85*, 276-286.

Thanasukarn, P., Petlomtnog, P., Ratanatriwong, N., Prachaiyo, O., & Ratanatriwong, P. (2021). Effect of storage conditions on qualities of red jasmine rice (*Oryza sativaL.*). *Naresuan agriculture journal, 18*(1), e0180103.

Thatsanasuwan, N., Chupeerach, C., Kriengsinyos, W., & Suttisansanee, U. (2013). The investigation of anti-acetylcholinesterase activity from *Pandanus amaryllifolius* leaf extract. *Agricultural Science Journal, 44*(2)(Suppl.), 413-416.

Wu, L.Y., Gao, H.Z., Wang, X.L., Ye, J.H., Lu, J.L., & Liang, Y.R. (2010). Analysis of chemical composition of Chrysanthemum indicum flowers by GC/MS and HPLC. *Journal of Medicinal Plants Research, 4*(5), 421-426.

Youssef, F.S., Eid, S.Y., Alshammari, E., Ashour, M.L., Wink, M., & El-Readi, M.Z. (2020). *Chrysanthemum indicum* and *Chrysanthemum morifolium*: Chemical composition of their essential oils and their potential use as natural preservatives with antimicrobial and antioxidant activities. *Foods*, doi:10.3390/foods9101460.

Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science and Technology*, *15*, 434-451.