บทความวิจัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวและหาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมสำหรับพัฒนาชุดตรวจอายุการเก็บข้าวอย่างง่าย

กิตติศักดิ์ วสันติวงศ์*
โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
รุ่งทิวา วงศกรทรัพย์
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี
ดุสิต อังธารารักษ์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
จีรัณ กิ่งแก้ว
นักวิชาการอิสระ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 2539 9545 อีเมล: kittisak_was@dusit.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.09.011
รับเมื่อ 28 พฤษภาคม 2564 แก้ไขเมื่อ 16 สิงหาคม 2564 ตอบรับเมื่อ 19 ตุลาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 29 กันยายน 2566
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

เมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ส่งผลต่อคุณสมบัติการหุงต้มและการบริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของข้าวที่อายุการเก็บแตกต่างกันและหาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue เพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบอายุของข้าวอย่างง่าย ตัวอย่างข้าวที่ใช้ คือ กข. 6 ขาวดอกมะลิ 105 และพิษณุโลก 2 ที่เก็บ 0–12 เดือน ที่อุณหภูมิห้องพบว่าข้าวที่อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว กข. 6 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพิษณุโลก 2 ลดลงจาก 6.82 เป็น 6.45 จาก 7.09 เป็น 6.45 และจาก 7.03 เป็น 6.49 ตามลำดับ สีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (ช่วง 5.8–7.2) สภาวะที่เหมาะสมที่เห็นความแตกต่างของสีชัดเจนที่สุดในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.8–7.2 อัตราส่วนของสารละลายระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue คือ อัตราส่วน 60 : 40 เมื่อนำไปทดสอบกับข้าวที่มีอายุแตกต่างกันพบว่า สารละลายอินดิเคเตอร์ผสมเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีส้มตามอายุการเก็บของข้าวที่มากขึ้น สามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบอายุการเก็บของข้าวอย่างง่ายได้ สามารถแก้ปัญหาการปลอมปนของข้าวได้

คำสำคัญ: ข้าวใหม่ ข้าวเก่า อายุการเก็บของข้าว ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม

การอ้างอิงบทความ: กิตติศักดิ์ วสันติวงศ์, รุ่งทิวา วงศกรทรัพย์, ดุสิต อังธารารักษ์ และ จีรัณ กิ่งแก้ว, "การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวและหาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมสำหรับพัฒนาชุดตรวจอายุการเก็บข้าวอย่างง่าย," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 4, หน้า 1–11, เลขที่บทความ 234-165114, ต.ค.–ธ.ค. 2566.

Research Article

Study of pH Changes of Rice and Suitable Condition of Mixed Indicator Solution for Developing a Simple Rice Age Test Kit

Kittisak Wasantiwong*
Suan Dusit School of Culinary Arts, Suan Dusit University, Bangkok, Thailand
Rungtiwa Wongsagonsup
Division of Food Technology, Mahidol University, Kanchanaburi Campus, Kanchanaburi, Thailand
Dusit Angthararuk
Faculty of science and technology, Suan Dusit University, Bangkok, Thailand
Jeerun Kingkaew
Independent Academic, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 2539 9545, E–mail: kittisak_was@dusit.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.09.011
Received 28 May 2021; Revised 16 August 2021; Accepted 19 October 2021; Published online: 29 September 2023
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Rice grains encounter the changes of physicochemical properties along the storage periods, thus affecting the cooking and eating properties. This research aims to study the pH changes of stored rice cultivars during different storage times and to find the suitable condition of mixed indicator solution between Methyl red and Bromothymol blue for developing a simple test kit for age estimation of stored rice. The rice cultivars used were RD 6, Khao Dawk Mali 105, and Phitsanulok 2, which were stored for 0–12 months at room temperature. The results showed that for rice with increasing storage time, pH value of rice decreased. The pH of RD 6, Khao Dawk Mali 105, and Phitsanulok 2 rice cultivars decreased from 6.82–6.45, from 7.09 to 6.45 and from 7.03–6.49, respectively. The color of the mixed indicator solution changed according to the pH value of phosphate buffer (pH 5.8–7.2). The suitable condition giving the most obvious color differences in pH 5.8-7.2 of mixed indicator solution between Methyl red and Bromothymol blue was at ratio of 60 : 40 and volume of 0.30 ml. When the stored rice samples of varying ages were tested with the optimum mixed indicator solution, the solution color changed from green to yellow and orange with the increasing storage times of rice. This can be used for developing a simple test kit for age estimation of stored rice and would also solve the problem of adulteration of fresh and aged rice.

Keywords: Fresh Rice, Aged Rice, Storage Age of Rice, pH Value, Mixed Indicator Solution

Please cite this article as: K. Wasantiwong, R. Wongsagonsup, D. Angthararuk, and J. Kingkaew, "Study of pH changes of rice and suitable condition of mixed indicator solution for developing a simple rice age test kit," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 4, pp. 1–11, ID. 234-165114, Oct.–Dec. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นอาหารหลักของประชากรในแถบทวีปเอเชีย และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยใน พ.ศ. 2563 การส่งออกข้าวสามารถนำเงินตราเข้าสู่ประเทศ 115,914.79 ล้านบาท [1] ข้าวมีองค์ประกอบหลักเป็นแป้งซึ่งมีปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกัน หากแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลสสามารถแบ่งได้เป็น ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (>25%) ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลาง (20–25%) ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (10–19%) และข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมาก (3–9%) นอกจากนี้สามารถแบ่งประเภทข้าวตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวใหม่และข้าวเก่า ข้าวใหม่คือข้าวที่ทำการเก็บน้อยกว่า 4 เดือน ก่อนนำไปขัดสี ส่วนข้าวเก่าคือข้าวที่เก็บรักษาตั้งแต่ 4 เดือนขึ้นไป ก่อนนำไปขัดสี [2] ลักษณะข้าวสุกจากข้าวเก่าจะแข็งและร่วนมากกว่าข้าวใหม่ [3] กลไกการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวจะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เช่น เม็ดแป้งและโปรตีนเกิดการจับกันแข็งแรงขึ้น กรดไขมันอิสระที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไขมัน จับกับอะไมโลส มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็งขึ้น [4] ส่งผลถึงการนำข้าวมาใช้บริโภคในแต่ละครัวเรือน เช่น ข้าวหอมมะลิ โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวหอมมะลิเก่ามากกว่าข้าวหอมมะลิใหม่ เนื่องจากข้าวหอมมะลิใหม่หลังจากหุงสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่แฉะเกินไป [5]

การประเมินเพื่อแยกแยะข้าวใหม่กับข้าวเก่า หรือการประเมินอายุการเก็บรักษาของข้าว ในอดีตนิยมใช้วิธีการตรวจสอบทางกายภาพ เช่น การใช้การเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวสารที่มีสีขาวเมื่ออยู่ในระยะข้าวใหม่ กับข้าวเก่าที่มีอายุหลังการเก็บมากกว่า 4 เดือนขึ้นไป เมื่อเก็บเมล็ดข้าวไว้นานขึ้นสีของเมล็ดข้าวสารจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น [6] วิธีการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับข้าวสารที่แปรสภาพมาจากข้าวเปลือกที่มีการจัดการความชื้นหลังการเก็บเกี่ยวไม่เหมาะสม เช่น ข้าวเปลือกที่จมน้ำในแปลงปลูกหรือการลดความชื้นภายหลังการเก็บเกี่ยวล่าช้า และเมล็ดข้าวสารภายหลังการแปรสภาพที่ดูดความชื้นกลับ ทำให้มีความชื้นเกินกว่าร้อยละ 14 ความชื้นที่สูงจะเพิ่มอุณหูมิของข้าวจากกระบวนการหายใจที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในเรื่องสีของเมล็ดข้าวสารได้เช่นกันถึงแม้ว่าจะเป็นข้าวใหม่ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพข้าวสุก [7], [8] ดังนั้นการตรวจสอบความเก่าใหม่ของข้าวสารโดยใช้วิธีการทางกายภาพจึงไม่สามารถระบุความใหม่-เก่าของข้าวสารได้อย่างแม่นยำ ปัญหาการนำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ใหม่ที่สีของข้าวสารมีสีเหลืองซึ่งมีราคาถูกมาปลอมปนกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เก่าที่มีราคาแพง ไม่สามารถใช้วิธีการทางกายภาพด้านสีของเมล็ดข้าวมาใช้ในการแยกแยะได้ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการตรวจสอบความใหม่-เก่าของข้าวโดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มกับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ เนื่องจากข้าวสารที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานานองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะยึดเกาะกันแน่นขึ้น [9] เมื่อนำมาหุงต้มจะต้องใช้พลังงานในการทำลายพันธะเหล่านี้สูงขึ้น ใช้ระยะเวลาในการหุงต้มยาวนานและใช้ปริมาณน้ำในการหุงต้มมากขึ้น วิธีการนี้ใช้ได้กับข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง แต่ความแม่นยำในการใช้กับข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมากเช่นข้าวเหนียว และข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่ำมาก [6]

การวัดเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าวจึงถูกนำมาใช้ในการประเมินอายุการเก็บของข้าวให้มีความถูกต้องและความแม่นยำมากขึ้น งานวิจัยของ Park และคณะ [8] พบว่า ค่าความเป็นกรดของไขมันเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาของข้าวนานขึ้น เนื่องจากมีการสลายตัวของไขมัน Triglyceride เป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rehman [10] ที่พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาของข้าวเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวมีแนวโน้มลดลงและมีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียส [10] จึงได้มีการใช้สารละลายอินดิเคเตอร์ Bromothymol Blue ในการทดสอบความใหม่-เก่าของเมล็ดข้าว ซึ่งสีของสารละลายอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด-ด่างหรือปริมาณกรดไขมันอิสระของเมล็ดข้าว และสามารถตรวจสอบได้ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 615 และ 690 นาโนเมตร แล้วนำมาคำนวณค่าดัชนี

ความใหม่-เก่าของข้าวได้ หรือนำไปพัฒนาแถบสีและการวัดสีในระบบ L^* a^* b^* ของสารละลายอินดิเคเตอร์ในตัวอย่างข้าวได้ โดยค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) ของสารละลายอินดิเคเตอร์มีค่าลดลง และค่าสีเขียว ($-a^*$) มีค่ามากขึ้น เมื่ออายุการเก็บของข้าวมากขึ้น [11] นอกจากนี้ยังมีการทำแผนภูมิสีย้อมจากการใช้สารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue สำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเมล็ดข้าวที่มีอายุการเก็บแตกต่างกัน โดยใช้ข้าวเมล็ดสั้นชนิด Japonica จากประเทศไต้หวันที่มีอายุการเก็บ 0–4 ปีมาทำการศึกษา [12]

จากปัญหาการปลอมปนในข้าวเปลือก โดยการนำข้าวหอมมะลิใหม่ปลอมปนไปในข้าวหอมมะลิเก่าหรือการนำข้าวเหนียวเก่าปลอมปนไปในข้าวเหนียวใหม่ที่ผู้ค้าขายข้าวรับซื้อ ส่งผลต่อคุณภาพและราคาของข้าวที่ผู้ค้าขายข้าวจัดจำหน่าย สร้างความสูญเสียให้กับผู้ค้าขายข้าว ผู้ค้าขายข้าวจึงขอรับความช่วยเหลือจากนักวิจัยในการหาวิธีการในการแยกแยะข้าวใหม่กับข้าวเก่าและแก้ปัญหาการปลอมปนข้าวเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการรับซื้อข้าวเปลือกเพื่อลดการสูญเสียของผู้ค้าขายข้าว มูลค่าหลายล้านบาทต่อปี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ข้าวเมล็ดยาวชนิด Indica ของประเทศไทยในการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของข้าวตามอายุการเก็บรักษา และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue โดยการสังเกตุความแตกต่างของสีที่ชัดเจนที่สุดที่ช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่กำหนดเพื่อนำมาใช้ในการประเมินอายุของข้าวสารและแยกแยะความใหม่-เก่าของข้าว การวิจัยในครั้งนี้ใช้ข้าวเหนียว (กข. 6) ข้าวหอมมะลิ (ขาวดอกมะลิ 105) และข้าวขาว (พิษณุโลก 2) เป็นตัวแทนของข้าวอะไมโลสต่ำมาก ต่ำ และสูง ตามลำดับ เพื่อเป็นตัวแทนของข้าวประเภทต่างๆ ที่แบ่งตามปริมาณอะไมโลส

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวอย่างเป็นข้าวเปลือกเมล็ดยาวชนิด Indica ครอบคลุมทุกช่วงของปริมาณอะไมโลส 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข. 6 (ปริมาณอะไมโลส 5.57%) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ปริมาณอะไมโลส 15.69%) และ ข้าวพิษณุโลก 2 (ปริมาณอะไมโลส 27.52%) จากสหกรณ์การเกษตรเพื่อการตลาดลูกค้า ธ.ก.ส. บุรีรัมย์ จำกัด ที่อายุการเก็บรักษา 0–12 เดือน เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 28–34 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 65–75% ความชื้นของเมล็ดข้าว 11–13% เมื่อครบเวลาการเก็บรักษา นำข้าวเปลือกมาขัดสีเป็นข้าวสารด้วยเครื่องขัดสีทดสอบแบบถ่วงลูกเหล็กเป็นเวลา 45 วินาที

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว

ชั่งตัวอย่างข้าว 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ และเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร โดยศึกษาการผันแปรจำนวนครั้งในการเขย่า (ใช้มือเขย่าวน 1 รอบเท่ากับ 1 ครั้ง) จำนวน 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 ครั้ง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการละลายกรดไขมันอิสระจากการเขย่าผสม และระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ ตั้งแต่ 20, 45, 60, 120, 180, 240, 300, 420, 540, 600 และ 900 วินาที เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการละลายกรดไขมันอิสระจากระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ ก่อนวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH Meter แบบตั้งโต๊ะ (รุ่น 744, Metrohm Ltd., Herisau, Switzerland) แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 18 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และนำไปทำการทดลองในหัวข้อถัดไป (หัวข้อ 2.2.2)

2.2.2 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่อายุการเก็บแตกต่างกัน

ทำการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข. 6 ขาวดอกมะลิ 105 และ พิษณุโลก 2 ที่อายุการเก็บ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 เดือน โดยใช้ pH Meter แบบตั้งโต๊ะ (รุ่น 744, Metrohm Ltd., Herisau, Switzerland) โดยการชั่งตัวอย่างข้าว 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และใช้สภาวะ

ที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากข้อ 2.2.1 ทั้งจำนวนครั้งในการเขย่าและระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ก่อนวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการวิเคราะห์ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 18

2.2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมสำหรับพัฒนาชุดตรวจสอบอายุการเก็บของข้าวอย่างง่าย

2.2.3.1 การเตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมทำการเตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์ Methyl Red โดยการละลาย Methyl Red 0.2 กรัม ในสารละลายเอทานอล 99.9% (v/v) และปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลให้ได้ 150 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์ Bromothymol Blue โดยการละลาย Bromothymol Blue 0.2 กรัม ในสารละลายเอทานอล 99.9% (v/v) ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลให้ได้ 150 มิลลิลิตร [13] ทำการผสมสารละลายอินดิเคเตอร์ทั้ง 2 ชนิด ทั้งหมด 11 อัตราส่วน แสดงดังตารางที่ 1 เก็บสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมในขวดพร้อมห่อฟลอยด์ปิดให้มิดชิด แล้วเก็บไว้ในตู้เย็น

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue

สูตร	Methyl Red (%)	Bromothymol Blue (%)
1	0	100
2	10	90
3	20	80
4	30	70
5	40	60
6	50	50
7	60	40
8	70	30
9	80	20
10	90	10
11	100	0

2.2.3.2 การศึกษาอัตราส่วนและปริมาตรของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่เหมาะสมเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (ระหว่าง 1/15 M Na_2HPO_4 และ 1/15 M KH_2PO_4) เพื่อเป็นตัวแทนค่าความเป็นกรด-ด่างที่ครอบคลุมในช่วง 5.8–7.2 ของข้าวที่มีอายุเก็บ 0–12 เดือน โดยดูดสารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ และหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมแต่ละสูตร โดยผันแปรปริมาตรของสารละลายอินดิเคเตอร์ตั้งแต่ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 และ 0.50 มิลลิลิตร ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ และเขย่าให้สารละลายบัฟเฟอร์กับสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมเข้ากันดี จนเกิดการพัฒนาสีขึ้นมา สีที่ได้จะแตกต่างกันตามปัจจัยที่เกิดจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ทำการถ่ายรูปเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีตามค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายบัฟเฟอร์ โดยมีฉากและควบคุมแสง ตั้งค่ากล้องเป็นระบบ ISO 400 ความเร็วชัตเตอร์ 1/50 รูรับแสง 8 ค่า White Balance เป็นแสงแดด และ Picture Control เป็น Neutral แล้วทำการคัดเลือกอัตราส่วน และปริมาตรของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่เหมาะสมที่เห็นความแตกต่างของสีชัดเจนที่สุดในแต่ละค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายบัฟเฟอร์

2.2.4 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่อายุการเก็บแตกต่างกันนำสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.3.2 ทั้งอัตราส่วนและปริมาตรที่ใช้ ไปใช้ทดสอบกับตัวอย่างข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่มีอายุการเก็บรักษา 0, 3, 6, 9 และ 12 เดือน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมสำหรับการระบุความใหม่-เก่าของข้าว โดยการชั่งตัวอย่างข้าว 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ และเติมน้ำกลั่นซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายสารในเมล็ดข้าวปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมในอัตราส่วนและปริมาตรที่เหมาะสม จากข้อ 2.2.3.2 เขย่าให้เข้ากันและถ่ายรูปสีที่พัฒนาขึ้นของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมในตัวอย่างข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่อายุการเก็บรักษาแตกต่างกัน

3. ผลการทดลอง

3.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างข้าวจากการละลายของกรดไขมันอิสระพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อจำนวนครั้งในการเขย่าเมล็ดข้าวในน้ำด้วยมือแตกต่างกัน ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แสดงว่าจำนวนการเขย่าด้วยมือจำนวน 5 ครั้ง มีประสิทธิภาพเพียงพอในการละลายกรดไขมันอิสระออกมาจากเมล็ดข้าว และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ (วินาที) ของสารแขวนลอยเมล็ดข้าวในน้ำ ก่อนการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ก่อนวัดค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แสดงว่าที่ระยะเวลาตั้งทิ้งไว้ 20 วินาที มีประสิทธิภาพเพียงพอในการละลายกรดไขมันอิสระออกมาจากเมล็ดข้าว

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว คือการเขย่าเมล็ดข้าวในน้ำด้วยมือเป็นจำนวน 5 ครั้ง และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 20 วินาที ก่อนทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อใช้สภาวะนี้ในการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่อายุการเก็บรักษาแตกต่างกันต่อไป

3.2 ความเป็นกรด-ด่างของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่อายุการเก็บแตกต่างกัน

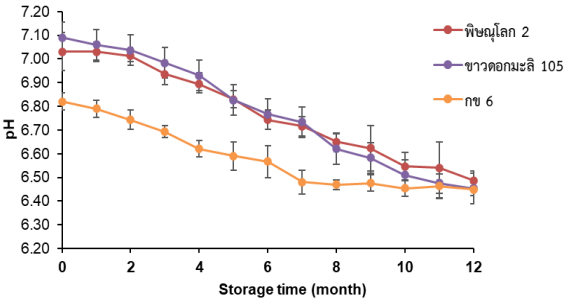
ผลของการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่อายุการเก็บตั้งแต่ 0–12 เดือนโดยใช้ pH Meter แบบตั้งโต๊ะ แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 1 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวทั้งสามสายพันธุ์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว กข. 6 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพิษณุโลก 2 ลดลงจาก 6.82 เป็น 6.45 จาก 7.09 เป็น 6.45 และจาก 7.03 เป็น 6.49 ตามลำดับ

ค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวต่างสายพันธุ์อาจจะมีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงของข้าวที่เกิดขึ้นตามเวลาเก็บรักษาแต่ละสายพันธุ์มีค่าไม่เท่ากัน เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlations) ระหว่างอายุการเก็บรักษากับค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว พบว่าอายุการเก็บข้าวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (ไม่ได้แสดงข้อมูล) กล่าวคืออายุการเก็บข้าวที่เพิ่มมากขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลง และจะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติการหุงต้มของข้าวเนื่องจากกรดไขมันอิสระจะรวมตัวกับอะไมโลสเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกรดไขมัน-อะไมโลส ซึ่งจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในข้าวทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกร่วนและแข็ง [14] ข้าวหุงสุกมีความร่วนและแข็งขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ข้าวที่มีอายุการเก็บ 4–6 เดือนเรียกว่าข้าวเก่า [2], [5] ซึ่งอาจเป็นที่นิยมในการบริโภคของผู้บริโภคบางกลุ่มที่นิยมข้าวสุกที่แข็งและร่วน

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่มีอายุการเก็บ 0–12 เดือน

อายุการเก็บ (เดือน)	ความเป็นกรด-ด่างของข้าว		
	กข. 6	ขาวดอกมะลิ 105	พิษณุโลก 2
0	6.82 ± 0.04^{a}	7.09 ± 0.04^{a}	7.03 ± 0.08^{a}
1	6.79 ± 0.04^{ab}	7.06 ± 0.04^{ab}	7.03 ± 0.04^{a}
2	6.74 ± 0.04^{bc}	7.04 ± 0.04^{ab}	7.01 ± 0.03^{a}
3	6.69 ± 0.03^{c}	6.98 ± 0.05^{bc}	6.94 ± 0.05^{ab}
4	6.62 ± 0.03^{d}	6.93 ± 0.07^{c}	6.89 ± 0.04^{bc}
5	6.59 ± 0.06^{d}	6.83 ± 0.05^{d}	6.83 ± 0.04^{cd}
6	6.57 ± 0.07^{d}	6.77 ± 0.06^{de}	6.74 ± 0.04^{de}
7	6.48 ± 0.05^{e}	6.73 ± 0.03^{e}	6.72 ± 0.04^{ef}
8	6.47 ± 0.02^{e}	6.62 ± 0.05^{f}	6.65 ± 0.04^{ef}
9	6.48 ± 0.04^{e}	6.58 ± 0.03^{fg}	6.62 ± 0.10^{fg}
10	6.45 ± 0.03^{e}	6.51 ± 0.03^{gh}	6.55 ± 0.06^{gh}
11	6.46 ± 0.05^{e}	6.48 ± 0.05^{h}	6.54 ± 0.11^{gh}
12	6.45 ± 0.03^{e}	6.45 ± 0.07^{h}	6.49 ± 0.04^{h}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรยกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



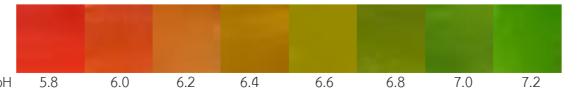
รูปที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่มีอายุการเก็บ 0–12 เดือน

3.3 สภาวะที่เหมาะสมของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมสำหรับพัฒนาชุดตรวจสอบอายุการเก็บของข้าวอย่างง่าย

การคัดเลือกอัตราส่วนและปริมาตรของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่เหมาะสม จากการผันแปรอัตราส่วนจำนวน 11 สูตร (ตารางที่ 1) และปริมาตรที่ใช้ (0.05–0.50 มิลลิลิตร) ของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่เติมลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5.8–7.2 พบว่า ในทุกๆ สูตรอัตราส่วนของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม การใช้สารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร ใส่ลงไปสารละลายบัฟเฟอร์ ทำให้เห็นความแตกต่างของสีที่พัฒนาขึ้นชัดเจนที่สุด (ไม่ได้แสดงรูป) และการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5.8–7.2 แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า สภาวะที่ให้ความแตกต่างของสีในแต่ละค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ชัดเจนที่สุด คือสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue ในอัตราส่วน 60 : 40 Methyl Red 4.2–6.3 เปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลือง เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างจาก 4.2 เป็น 6.3 และ Bromothymol Blue เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงินเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างจาก 6.0 เป็น 7.6

ดังนั้น สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม Methyl Red และ Bromothymol Blue ในอัตราส่วน 60 : 40 ที่ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาแถบสีระบุความใหม่-เก่าของข้าว (รูปที่ 3) ซึ่งมีการไล่เฉดสีจากสีเขียว

รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red แล Bromothymol Blue ที่อัตราส่วนต่างๆ ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5.8–7.2



รูปที่ 3 แถบสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red แล Bromothymol Blue ในสภาวะที่เหมาะสม (อัตราส่วน 60 : 40 ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร) ที่เติมลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5.8–7.2

เป็นสีเหลือง และสีส้มแดง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 7.2 เป็น 5.8 ตามลำดับ สามารถนำสีของสารละลายตามสูตรของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมนี้มาใช้เป็นแถบสีระบุความใหม่-เก่าของข้าว ที่ให้ครอบคลุมในทุกอายุการเก็บของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์

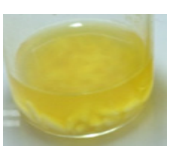
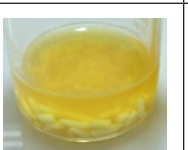
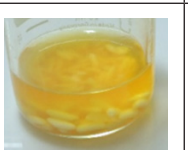
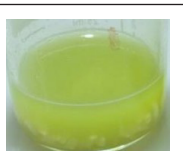
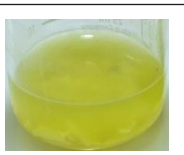
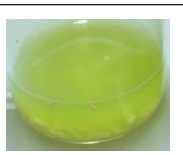
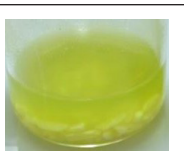
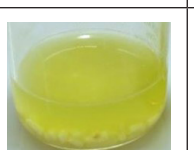
3.4 การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่อายุการเก็บแตกต่างกัน

เมื่อนำอัตราส่วนและปริมาตรของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue ที่เหมาะสมเติมลงในน้ำกลั่นเพื่อใช้ทดสอบความใหม่-เก่าหรืออายุการเก็บรักษาของข้าว ที่มีตัวอย่างข้าวพันธุ์ กข. 6 ขาวดอกมะลิ 105 และพิษณุโลก 2 แสดงผลดังตารางที่ 3 พบว่า สีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมมีความแตกต่างกันในแต่ละเดือน โดยสีของสารละลายของตัวอย่างข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ให้สีใกล้เคียงกัน คือ สีของข้าวพันธุ์ กข. 6 ที่อายุการเก็บ 0 เดือน ให้สีของสารละลายเป็นสีเขียวอ่อน สีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ พิษณุโลก 2 ที่อายุการเก็บ 0 เดือน ให้สีของสารละลายเป็นสีเขียวสด เมื่ออายุเพิ่มขึ้นสีของสารละลายจากสีเขียวจะเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองและเปลี่ยนไปเป็นสีส้มเมื่ออายุการเก็บ 12 เดือน ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ กข. 6 ให้สีของสารละลายเป็นสีส้มที่ชัดเจนกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพิษณุโลก 2 ที่อายุการเก็บ 12 เดือน ความแตกต่างของสีของสารละลายดังกล่าวสามารถบ่งบอกถึงความใหม่-เก่าของข้าวได้ เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมในสารละลายบัฟเฟอร์ (รูปที่ 3) และค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวในแต่ละอายุการเก็บรักษา (ตารางที่ 2) มีความสอดคล้องกัน คือข้าวที่มีอายุการเก็บนานขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง ส่งผลให้สีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีส้ม ตามลำดับอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น

4. อภิปรายผลและสรุป

อายุการเก็บรักษาของข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าว หนึ่งในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาข้าว คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออายุการเก็บของข้าวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษา ไขมันในข้าวจะลดลง [15] จากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยไขมันถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ไลเปสทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ [16] จึงทำให้ข้าวมีความเป็นกรดมากขึ้น [8] ค่าความเป็นกรด-ด่างจึงลดลง ปริมาณกรดไขมันอิสระ และสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวได้ [3] ข้าว กข. 6 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้นที่อายุการเก็บ 0 เดือน อยู่ที่ 6.82 ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 7.09 และข้าวพิษณุโลก 2 ที่มีค่า

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมที่สภาวะเหมาะสมของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่มีอายุการเก็บ 0–12 เดือน

ตัวอย่าง	ตัวอย่างข้าวที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ (เดือน)				
	0	3	6	9	12
กข. 6					
ขาวดอกมะลิ 105					
พิษณุโลก 2					

ความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 7.03 การที่ข้าว กข. 6 มีค่าความกรด-ด่าง ต่ำกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพิษณุโลก 2 อาจมีสาเหตุมาจากข้าว กข. 6 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมาก (รูปที่ 1) ในเมล็ดข้าวมีองค์ประกอบของไขมันจำพวกกรดไขมันอิสระมากที่สุด และที่ผิวของเมล็ดข้าว กข. 6 ยังมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่สามารถเกิดการสลายตัวหรือถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งกลางของปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ที่สามารถสลายตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนิลได้ง่าย สารประกอบคาร์บอนิลนี้ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ [17]

สารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue ถูกคัดเลือกมาใช้ในการศึกษานี้ เพื่อนำผลการทดลองไปพัฒนาชุดตรวจประเมินอายุการเก็บรักษาข้าวอย่างง่าย เนื่องจากช่วงการเปลี่ยนสีของ Methyl Red คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.2–6.3 โดย Methyl Red จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลือง และช่วงการเปลี่ยนสีของ Bromothymol Blue คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0–7.6 โดย Bromothymol Blue จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน [18] ซึ่งเป็นช่วงที่ให้การเปลี่ยนแปลงของค่าสีครอบคลุมช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างข้าวที่นำมาทดสอบที่อายุ 0–12 เดือน อัตราส่วนและปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมจะทำให้เห็นความแตกต่างของสีในแต่ละค่าความเป็นกรด-ด่างที่ชัดเจน โดยสีของสารละลายที่ทดสอบเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีส้มแดงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 7.2 เป็น 5.8 ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hsu และ Lu [12]

แถบสีที่ได้จากการทดลองนี้มีความใกล้เคียงกับแถบสีมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสอบความใหม่-เก่าของข้าวสารของสำนักงานคณะกรรมการตรวจข้าว สภาหอการค้าไทย ที่ไม่ได้ระบุชนิดของอินดิเคเตอร์ที่ใช้วัดความใหม่-เก่าของข้าว [19] วิธีการทดสอบและอ่านผล ทำโดยชั่งตัวอย่างข้าวสาร 5 กรัม เติมสารย้อมสีสำเร็จรูปลงไป10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันประมาณ 1 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย โดยทำการเปรียบเทียบกับตารางระดับสีมาตรฐาน ซึ่ง “ข้าวฤดูใหม่จะให้สีของสารละลายเป็นสีเขียวสด ความใหม่ของข้าวจากใหม่ไปเก่าจะให้สีสารละลายจากสีเขียว เปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง และสีส้ม ตามลำดับ” [19] โดยการทดสอบดังกล่าวไม่ได้กล่าวถึงชื่อของสารที่ใช้เป็นสารย้อมสีในการทดสอบ

งานวิจัยของ Srikaeo และ Panya [11] ใช้สารละลายอินดิเคเตอร์เพียง 1 ชนิด คือ Bromothymol Blue ที่มีการเปลี่ยนแปลงสีในช่วง 6.0–7.6 (ให้ค่าสีจากเหลืองเป็นสีน้ำเงิน) ซึ่งช่วงการเปลี่ยนสีดังกล่าวนี้ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของสีด้วยสายตาได้อย่างชัดเจนในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยๆ จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ในการอ่านผล เพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีความใหม่-เก่าของข้าวมีความแม่นยำมากขึ้น

การศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การตรวจสอบความใหม่-เก่าของข้าวหรืออายุการเก็บของข้าวสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีในเรื่อง ค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว และใช้เทคนิคการเปลี่ยนสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง Methyl Red และ Bromothymol Blue ที่อัตราส่วน 60 : 40 ให้ผลการทดสอบในตัวอย่างข้าวที่อายุเก็บรักษาแตกต่างกันจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง แตกต่างกัน สามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจประเมินอายุการเก็บรักษาของข้าวอย่างง่ายได้ ข้าวที่มีอายุการเก็บรักษามากขึ้นจาก 0–12 เดือน จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลงจากกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันในเมล็ดข้าว และสีของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมจะเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีส้ม ตามลำดับอายุการเก็บของข้าวที่เพิ่มขึ้นของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งสีที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าว สามารถแยกความใหม่-เก่าของข้าวครอบคลุมระยะเวลา 12 เดือน และไม่ต้องใช้ Spectrophotometer ในการอ่านผล วิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ที่สามารถอ่านผลได้ด้วยสายตา เหมาะสำหรับการถ่ายทอดไปยังสหกรณ์ฯ หรือสถาบันเกษตรกรต่างๆ ได้นำไปใช้ทดสอบเพื่อช่วยแก้ปัญหาการปลอมปนของข้าวใหม่ข้าวเก่าได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

เอกสารอ้างอิง

[1] Department of International Trade Promotion, Ministry of Commerce (2021, February). *Fact sheet of rice at 2020* [Online]. (in Thai). Available: https://www.ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/730242/730242.pdf&title=730242&cate=456&d=0

[2] M. Chiawwet, "Aging of paddy using fluidized bed drying followed by tempering," M.S. thesis, School of Energy and Materials ,Energy Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2005 (in Thai).

[3] L. Wiset, "Effect of storage temperature and time on lipid content and physico-chemical properties of brown rice cv Khao Dawk Mali 105," M.S. thesis, Graduate School, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2000 (in Thai).

[4] P. Jiatrakul. "Chilled storage bin for rice cv. Khao Dawk Mali 105," M.S. thesis, Graduate School, Chiang Mai University, Chiang Mai, 2005 (in Thai).

[5] W. Chinsuwan and P. Wannacharee, "Accelerated aging of hommail paddy by drying in sealed container," *KKU Engineering Journal*, vol. 29, no. 1–2, pp. 131–146, 2002 (in Thai).

[6] K. Wasantiwong, P. Wanitchang, P. Chanchareon, A. Imsil, J. Wanitchang and S. Kaewkrajang, "Quality changing of Khao Dawk Mali 105 varity by solar heart trement," *SDU Research Journal*, vol. 5, no.2, pp. 27–36, 2012 (in Thai).

[7] S. Preetong, "The study of factory affecting paddy drying process using the design of experiment," M.Eng thsis, Industrial Engineering, Graduate School, Burapha University, Chonburi, 2016 (in Thai).

[8] C. E. Park, Y. S. Kim, K. J. Park, and B. K. Kim, "Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures," *Journal of Stored Products Research*, vol. 48, pp. 25–29, 2012.

[9] N. Dalai, "Storage and hydrothermal treatments on physical and chemical properties of milled rice and flour," M.S. thsis, School of Food Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 2010 (in Thai).

[10] Z. U. Rehman, "Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals," *Journal of Food Chemistry*, vol. 95, pp. 53–57, 2006.

[11] K. Srikaeo and U. Panya, "Efficiencies of chemical techniques for rice grain freshness analysis," *Rice Science*, vol. 20, no. 20, pp. 292–297, 2013.

[12] R. J. Hsu and S. Lu, "Validation of the dye colour chart method for pH determination of rice grains," *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, vol. 5, no. 1, pp. 63–69, 2013.

[13] C. Kumagai, Y. Hagiwara, T. Yamamoto, and K. Akiyama, "Detecting old rice," *The Journal of Brewing Society of Japan*, pp. 733–736, 1978.

[14] R. M. Villareal, A. P. Resurreccion, L. B. Suzuki, and B. O. Juliano, "Changes in physicochemical properties ofrice during storage," *Starch/Starke*, vol. 28, no. 3, pp. 89–94, 1976.

[15] Z. Zhou, K. Robards, S. Helliwell, and

C. Blanchard, "Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes," *Journal of Cereal Science*, vol. 35, pp. 65–78, 2002.

[16] N. S. Sodhi, N. Singh, M. Arora, and J. Singh, "Changes in physicochemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 27, no. 5, pp. 115–124, 2003.

[17] K. Liu, Y. Li, F. Chen, and F. Yong, "Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures," *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 1, pp. 188–195, 2017.

[18] S. Armniiyphikul, *Analytical chemistry*, Phisanulok: Pibulsongkram Rajabhat University, 2010 (in Thai).

[19] Office of rice Inspection committeeboard of trade of Thailand. (n.d.). *Fresh-aged rice testing*. [Online]. (in Thai). Available: https://www.riceinspection.com/copy-of-analysis2-1.