

บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์เค้กสปันจ์ Application of Hydroxypropyl Distarch Phosphate in Sponge Cake

ณัฐกานต์ อุ่นอรุณ¹ และ ขนิษฐา ธนานุวงศ์^{1,2*}
Nattakarn Ounaron¹ and Kanitha Tananuwong^{1,2*}

Received: April 17, 2019

Revised: July 26, 2019

Accepted: August 13, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต (HDP) ต่อสมบัติทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของเค้ก สปันจ์ จากการทดลองพบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 20-40 ทำให้ความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมเหลว ปริมาตรจำเพาะ standing height และ volume index ของเค้กลดลงจากสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) เค้กสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ร้อยละ 40 มีค่า hardness และ gumminess ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื้อเค้กสูตรผสม HDP มีการกระจายตัวของโพรงอากาศไม่สม่ำเสมอ และมีจำนวนโพรงอากาศขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น เค้กผสม HDP ทุกสูตรได้รับคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) แต่ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏต่ำกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 30 เป็นระดับสูงสุดที่ทำให้เค้กมีค่า hardness ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) และมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง จึงเลือกสูตรดังกล่าวมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส 7 วัน เทียบกับสูตรควบคุม พบว่าค่า hardness gumminess chewiness และ a_w ที่ผิวนอกของเค้กทั้งสองสูตรเพิ่มขึ้น แต่ a_w ที่เนื้อในลดลงอย่างมาก ($p \leq 0.05$) ใน 2 วันแรก และเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหลังจากนั้น นอกจากนี้ยังพบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 30 ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า hardness ระหว่างการเก็บรักษาได้

คำสำคัญ: ไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต เค้กสปันจ์ คุณภาพ การเก็บรักษา

ABSTRACT

Objective of this research was to study effects of wheat flour substituted by hydroxypropyl distarch phosphate (HDP) on physical properties and sensory characteristics of sponge cake. Results showed that 20-40% of wheat flour substituted by HDP resulted in a decreasing specific gravity of the cake batter, specific volume, standing height and volume index of the cakes, comparing to those of the control formula ($p \leq 0.05$). The cake with 40% HDP had the lowest hardness and gumminess ($p \leq 0.05$). Air cells distribution within the HDP-containing cake crumbs were non-uniform and the numbers of air cells were greater and larger. There was no significant difference in scores of color, texture, taste and overall acceptability of the cake samples with HDP ($p > 0.05$), while the score of appearance was lower than that of the control ($p \leq 0.05$). Substitution with 30% HDP was the highest value providing a non-significant difference in hardness of cake with comparison of the control ($p > 0.05$). Its score of appearance was in the range of 'slightly to moderately preferred'. Therefore, this formula (30% HDP substitution) was selected for studying changes in cake quality during 7-day storage at 25°C. Hardness, gumminess, chewiness and a_w of the exterior parts increased, while a_w of the interior parts of the cakes greatly decreased ($p \leq 0.05$) within the first two days of storage. Those parameters changed slightly afterwards. Moreover, it was clearly shown that substitution of wheat flour with 30% HDP could retard an increase in hardness of the cake during the storage.

Keywords: hydroxypropyl distarch phosphate, sponge cake, quality, storage

* Corresponding author e-mail: Kanitha.T@chula.ac.th

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรรจุภัณฑ์และการควบคุมอายุการเก็บอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

บทนำ

เค้กเป็นอาหารหวานที่มีลักษณะเนื้อนุ่มและฟูเป็นที่นิยมมากในการบริโภค ผลิตภัณฑ์มีให้เลือกมากมายหลายชนิด ซึ่งคุณภาพของเค้กขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมและกระบวนการผลิต เช่น วิธีการผสมส่วนผสมเหลว ระยะเวลาในการอบ รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้อบ ในการปรับสูตรเค้กนั้นอาจนำแป้งชนิดอื่นมาทดแทนแป้งสาลี เพื่อลดต้นทุนและปรับปรุงคุณภาพด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัส [1, 2] อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเค้กอาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บ เนื่องจากเกิดการสแตลิง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันและการถ่ายเทความชื้น ทำให้เค้กมีเนื้อสัมผัสแห้งและร่วนมากขึ้น [3]

เค้กสปันจ์ คือ เค้กไข่ ซึ่งมีลักษณะนิ่ม นุ่มเหมือนฟองน้ำ เนื้อเค้กฟูเบา และเนื้อละเอียด จัดเป็นเค้กประเภทหนึ่งที่เป็นที่นิยมบริโภค มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสูตรเค้กชนิดนี้โดยนำแป้งชนิดอื่นมาทดแทนแป้งสาลี โดยเฉพาะแป้งที่ผลิตได้มากในประเทศไทย เช่น แป้งมันสำปะหลัง Chaiya และ Pongsawatmanit [4] ศึกษาคุณภาพของส่วนผสมเหลวและสปันจ์เค้กที่ทำจากแป้งสาลีผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยกำหนดอัตราส่วนแป้งสาลีต่อแป้งมันสำปะหลัง 3 สูตร คือ 100:0 75:25 และ 50:50 พบว่า เมื่อระดับการทดแทนด้วยแป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมเหลวมีความหนืดเพิ่มขึ้นแต่มีความหนาแน่นลดลง ทำให้เค้กมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้นแต่มีค่า hardness ลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าความนุ่มและค่าความเหนียวโดยรวมของเค้กสปันจ์จากสูตร 50:50 มีค่าสูงกว่าสูตร 100:0 ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงอาจนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในสูตรเค้กสปันจ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสได้

ไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต (hydroxypropyl distarch phosphate, HDP) เป็นสตาร์ชที่ได้จากการดัดแปรแบบสองขั้นตอนโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วย sodium trimetaphosphate หรือ phosphorus oxychloride ร่วมกับปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชันด้วย propylene oxide ทำให้ได้สตาร์ชที่มีคุณสมบัติทนความเป็นกรด อุณหภูมิสูง และแรงเฉือนสูง และเกิดรีโทรกราเดชันได้ไม่ดี จึงเหมาะที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดรีโทรกราเดชันของ

สตาร์ชมากเกินไป เช่น อาหารกระป๋อง อาหารแช่เย็น และแช่แข็ง น้ำสลัด พุดดิ้ง และเกรวี่ [5] เนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชันในระหว่างการเก็บรักษาอาหารเหล่านี้ อาจทำให้ความหนืด เนื้อสัมผัส รวมถึงลักษณะปรากฏของอาหารเปลี่ยนแปลงไปจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในกรณีของอาหารแช่แข็งที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ หากเกิดรีโทรกราเดชันมากเกินไปจะทำให้อาหารทนต่อภาวะการแช่แข็งและละลายน้ำแข็งได้ไม่ดี (poor freeze-thaw stability) กล่าวคือ หากอาหารผ่านการแช่แข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำๆ (freezing-thawing cycle) จะเกิดการแยกตัวของน้ำออกจากชิ้นอาหารในระดับที่สูง และเป็นผลเสียต่อเนื้อสัมผัสของอาหารที่ผ่านการละลายน้ำแข็ง หรือผ่านการอุ่นร้อนก่อนรับประทาน หรือกรณีของอาหารที่มีความชื้นหนืด เช่น ชูปังกระป๋อง น้ำสลัด หากสตาร์ชเกิดรีโทรกราเดชันมากเกินไประหว่างการเก็บรักษา อาจทำให้ของเหลวชั้นหนืดกลายเป็นเจลที่ไม่สามารถเทให้ไหลออกจากภาชนะได้ [6]

งานวิจัยที่ผ่านมา [4] ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้แป้งมันสำปะหลังเพื่อทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในเค้กสปันจ์ แต่งานวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเค้กที่มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังระหว่างการเก็บรักษา และเนื่องจากรีโทรกราเดชัน เป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่ทำให้คุณภาพของเค้กด้อยลงได้ระหว่างการเก็บ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ซึ่งดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง ต่อคุณภาพของเค้กสปันจ์ที่ผลิตใหม่และที่เก็บรักษาเป็นเวลาต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ HDP ทดแทนแป้งสาลีในสูตรเค้ก สปันจ์ โดยมีสมมติฐานว่า HDP จะช่วยปรับปรุงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและยืดอายุการเก็บรักษาเค้กดังกล่าว กล่าวคือ HDP เกิดรีโทรกราเดชันได้ด้อยกว่า (และช้ากว่า) สตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร (ในที่นี้ คือ สตาร์ชในแป้งฟลาวัวร์จากข้าวสาลี) การผสม HDP ลงในผลิตภัณฑ์จึงอาจช่วยลดระดับการเกิดรีโทรกราเดชันโดยรวมของสตาร์ชในเค้ก ทำให้เค้กมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มลง และอาจช่วยชะลอการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชโดยรวมในเค้กระหว่างการเก็บได้ เนื้อสัมผัสของเค้กจึงอาจ

* Corresponding author e-mail: *Kanitha.T@chula.ac.th

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

²Special Task force of Activating Research (STAR) in Novel Technology for Food Packaging and Control of Shelf Life, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

เปลี่ยนแปลงข้างระหว่างเก็บ ซึ่งจะทำให้เค้กมีอายุการเก็บที่นานขึ้นด้วย

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

แป้งดัดแปร hydroxypropyl distarch phosphate (HDP) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับมาจาก บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด ส่วนผสมอื่นๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แป้งสาลีสำหรับทำเค้ก (โปรตีน ร้อยละ 7-9) น้ำตาลทราย อิมัลซิไฟเออร์ (ยูเอฟเอ็ม เอสพี, ยูเอฟเอ็มฟูดเซ็นเตอร์ จำกัด, ประเทศไทย) และผงฟูดับเบิลแอ็คชั่น (เบเกอร์ ซ้อยส์, เคซีจี คอร์ปอเรชั่น จำกัด, ประเทศไทย) หาซื้อได้จากร้านค้าในท้องถิ่น

2. การศึกษาหาระดับที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งสาลีในสูตรเค้กสปันจ์ด้วย HDP

เตรียมตัวอย่างเค้กสปันจ์ โดยตั้งอุณหภูมิของเตาอบ (EB-620, Gainco, Guangzhou Gainco Catering Equipment Co., Ltd., ประเทศจีน) ก่อนการเตรียมตัวอย่าง โดยปรับอุณหภูมิเตาล่างที่ 200 องศาเซลเซียส แบ่งการเตรียมส่วนผสมออกเป็นสองส่วน โดยส่วนที่ 1 คือ ร่อนแป้งสาลี แป้งดัดแปร HDP และผงฟูให้เข้ากัน พักไว้

สำหรับส่วนที่ 2 เตรียมไข่ น้ำตาลทรายและอิมัลซิไฟเออร์ตามสูตร (Table 1) แล้วตีส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Kitchen Aid รุ่น KPM5 (Whirlpool Corporation, USA) โดยใช้หัวตีตะกร้อที่ความเร็วระดับ 8 เป็นเวลา 4 นาที แล้วจึงลดความเร็วลงให้เป็นระดับ 2 เทส่วนผสมส่วนที่ 1 ลงไปในส่วนผสมส่วนที่ 2 แล้วตีผสมต่ออีก 2 นาที นำส่วนผสมเหลวที่ได้บรรจุใส่แม่พิมพ์ทรงกระบอกให้มีน้ำหนักสุทธิประมาณ 22 กรัม โดยแม่พิมพ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 6 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร แล้วจึงนำเข้าเตาอบ เมื่อผ่านไป 4 นาที เปิดเตาอบให้มีอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส อบอุ่นอีก 6 นาที (อุณหภูมิอากาศภายในเตาอบมีค่าประมาณ 185 องศาเซลเซียส) ใช้เวลาอบทั้งหมดรวม 10 นาที พักไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดและวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของเค้ก

ในแต่ละครั้งของการเตรียมตัวอย่างเค้ก จะได้เค้ก 16 ก้อนต่อการอบ 1 ครั้ง ซึ่งกำหนดการตีส่วนผสมเหลว 1 ครั้ง (น้ำหนักรวม 535 กรัม ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเค้ก 16 ก้อน) เป็นการทดลอง 1 ซ้ำ

เตรียมตัวอย่างเค้กสปันจ์ตามสูตรที่ดัดแปลงจากนราธิป [3] และทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับร้อยละ 0 20 30 และ 40 ของแป้งสาลีที่ใช้ (Table 1) แต่ละสูตรจะทดลอง 2 ซ้ำ

Table 1 Composition of the sponge cake batter for each batch of the batter preparation

Ingredients	Weight of the ingredients for batter preparation (g)			
	0% HDP subst.	20% HDP subst.	30% HDP subst.	40% HDP subst.
Wheat flour	125.00	100.00	87.50	75.00
HDP	0.00	25.00	37.50	50.00
Whole egg	250.00	250.00	250.00	250.00
Sugar	150.00	150.00	150.00	150.00
Emulsifier	5.00	5.00	5.00	5.00
Baking powder	5.00	5.00	5.00	5.00
Total	535.00	535.00	535.00	535.00

HDP subst. refers to the level of wheat flour substitution by HDP in the sponge cake formula

* Corresponding author e-mail: Kanitha.T@chula.ac.th

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรรจุภัณฑ์และการควบคุมอายุการเก็บอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

นำตัวอย่างส่วนผสมเหลวมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมเหลว ตามวิธีของ Kim and Walker [7] และความหนืดของส่วนผสมเหลว โดยใช้เครื่อง Fungilab Viscometer รุ่น Premium R ใช้ spindle R6 อัตราเร็วในการหมุน 60 RPM

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเค้กสปันจ์ ได้แก่ ปริมาตรจำเพาะของตัวอย่าง ด้วยวิธี Rapeseed Displacement ตามวิธีของ Lee et al. [8] ค่าน้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการอบ ตามวิธีของ Baker et al. [9] วัด Standing Height โดยใช้ Vernier Caliper ตามวิธีของ Pong et al. [10] วัด Volume index โดยใช้ Vernier Caliper ตามวิธีของ Cloke et al. [11] วัดค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ด้วยเครื่อง Aqua lab series 3 (METER Group, Inc., USA) วิเคราะห์ค่าที่บอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเค้กสปันจ์ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้ Texture Profile Analysis รุ่น TA.XT2i (Stable Micro System, UK) ตามวิธีของ Lee et al. [12] และถ่ายภาพเนื้อเค้กด้วย Stereomicroscope (SMZ-1000, Nikon Instrument, USA)

นำตัวอย่างเค้กสปันจ์มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้ 7-point hedonic scale ผู้ทดสอบ คือ ผู้ที่เคยรับประทานเค้กสปันจ์อายุ 18-60 ปี จำนวน 32 คน (ชาย 12 คน หญิง 20 คน) โดยหั่นตัวอย่างเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $3 \times 3 \times 5$ cm³ เลือกระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่สูงที่สุดที่ยังคงให้เค้กที่มีสมบัติทางประสาทสัมผัสในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยังยอมรับได้ ไปใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเค้กสปันจ์

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเค้กสปันจ์

เตรียมตัวอย่างเค้กสปันจ์ตามวิธีที่ระบุในข้อ 2 เติมน้ำตาลและโซเดียมเบนโซเอต sodium benzoate ในปริมาณ 0.40 กรัมต่อส่วนผสมเหลวของเค้ก 535 กรัม (รวมส่วนผสมทั้งหมดจะได้ 535.40 กรัม) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ

0.1 ของน้ำหนักเค้กหลังจากอบ บรรจุขึ้นเค้กกลางถาดพลาสติกชนิด Polypropylene ขนาด $7 \times 7 \times 5$ cm³ และใส่ในถุงพลาสติกชนิด laminated polyvinylidene chloride/ Nylon/ cast polypropylene (Knylon) ขนาด 7×7 cm² โดยชั้น polyvinylidene chloride มีความหนา 2 μ m ชั้น nylon มีความหนา 14 μ m และชั้น cast polypropylene มีความหนา 44 μ m ถุงชนิดนี้มีอัตราการซึมผ่านของ O₂ เท่ากับ 6.73 ± 0.05 cc/m².day อัตราการซึมผ่านของความชื้นเท่ากับ 0.02 ± 0.01 g/m².day เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ โดยการทดลอง 1 ซ้ำ คือ เค้ก 1 ก้อน

ติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษา โดยชั่งน้ำหนักของขึ้นเค้กที่ไม่รวมบรรจุภัณฑ์ตามเวลาต่างๆ ของการเก็บ (ทดลอง 6 ซ้ำ) แล้วนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก จากผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นและน้ำหนักตัวอย่าง ณ วันต่างๆ ของการเก็บรักษา เปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น วัดค่าที่บอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเค้กสปันจ์ระหว่างการเก็บรักษา ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้ Texture Profile Analysis รุ่น TA.XT2i ตามวิธีของ Lee et al. [12] (ทดลอง 4 ซ้ำ) และคำนวณร้อยละการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness จากผลต่างของค่า Hardness ของตัวอย่างเริ่มต้นและค่าที่ได้จากตัวอย่าง ณ วันต่างๆ ของการเก็บรักษา เปรียบเทียบกับค่า Hardness ของตัวอย่างเริ่มต้น วัดค่า a_w และความชื้นของเค้กที่ผิวหน้าและเนื้อเค้กระหว่างการเก็บรักษา เตรียมตัวอย่างโดยหั่นผิวหน้าและด้านล่างของขึ้นเค้กออกประมาณ 0.5-0.7 เซนติเมตร ส่วนที่เหลือคือ เนื้อเค้กตรงกลาง ใช้แม่พิมพ์แบบกดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร แยกส่วนตรงกลางออกมา นำส่วนผิวหน้าและส่วนตรงกลางของเค้กสปันจ์ มาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปวัดค่า a_w ด้วยเครื่อง Aqua lab series 3 และวัดความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน ตามวิธีของ AOAC [13] (ทดลอง 3 ซ้ำ)

* Corresponding author e-mail: *Kanitha.T@chula.ac.th

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

²Special Task force of Activating Research (STAR) in Novel Technology for Food Packaging and Control of Shelf Life, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

4. แผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ในการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Different Test (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ระดับที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งสาลีในสูตรเค้กสปันจ์ด้วย HDP

การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับร้อยละ 20 - 40 ทำให้ความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมเหลวลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) (Table 2) ความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมเหลวนี้อบ่งบอกถึงความหนาแน่นของอากาศที่สามารถกักเก็บไว้ในส่วนผสมเหลว ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการกำหนดคุณภาพของเค้ก [4] การที่ส่วนผสมเหลวที่ผสม HDP ทุกสูตรมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าสูตรควบคุม แสดงว่าส่วนผสมเหลวกักเก็บอากาศไว้ได้มากขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับสมบัติทางการไหลของส่วนผสมเหลวที่แตกต่างจากสูตรควบคุมด้วย

เมื่อพิจารณาความหนืดของส่วนผสมเหลว (Table 2) พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับร้อยละ 20 และ 30 ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมเหลวเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อทดแทนที่ระดับร้อยละ 40 ความหนืดของส่วนผสมเหลวกลับมีค่าไม่แตกต่างอย่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) ทั้งนี้แป้งสาลีและ HDP ล้วนมีผลต่อความหนืดและความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมเหลว โดยเม็ดสตาร์ชและโปรตีนจากแป้งสาลี และเม็ดสตาร์ชใน HDP ต่างสามารถดูดน้ำ พองตัว และให้ความหนืดแก่ส่วนผสมเหลวที่อุณหภูมิห้องได้ [14] การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับไม่สูงเกินไป (ร้อยละ 20 และ 30) ช่วยให้ความหนืดของส่วนผสมเหลวเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากความสามารถในการดูดน้ำ และพองตัวที่ดีของ HDP ที่อุณหภูมิห้อง และยังคงมีแป้งสาลีค่อนข้างสูงในสูตร จึงช่วยเสริมด้านการดูดน้ำ และให้ความหนืดแก่ส่วนผสมได้ แต่เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเป็นร้อยละ 40 ส่งผลให้สัดส่วนโปรตีน (จากแป้งสาลี) ในส่วนผสมลดลงมากเกินไป จนทำให้ความหนืดที่มีผลมาจากการดูดน้ำของโปรตีนข้าวสาลีลดลง จนไม่อาจชดเชยด้วยความหนืดที่เกิดจากเม็ดสตาร์ชใน HDP ได้ ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมเหลวมีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

Table 2 Specific gravity and viscosity of the sponge cake batters containing different levels of HDP

Level of wheat flour substitution by HDP	Specific gravity of batter	Viscosity of batter (cP)
0%	0.43 ^a ± 0.01	8,107 ^c ± 617
20%	0.37 ^c ± 0.00	9,907 ^b ± 63
30%	0.37 ^c ± 0.00	11,744 ^a ± 864
40%	0.38 ^b ± 0.01	6,855 ^c ± 413

Data were reported as mean ± standard deviation of duplicate experiments

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different ($p \leq 0.05$)

* Corresponding author e-mail: Kanitha.T@chula.ac.th

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรรจุภัณฑ์และการควบคุมอายุการเก็บอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพของเค้กสปันจ์ (Table 3) พบว่าสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ทุกสูตร มีค่าปริมาตรจำเพาะ standing height และ volume index ลดลงจากสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP จากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 30 และ 40 ไม่ส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะ standing height และ volume index ของเค้กสปันจ์ ($p > 0.05$) ทั้งนี้ การที่ค่า standing height volume index และปริมาตรจำเพาะของเค้กสูตรผสม HDP ทุกสูตรลดลงจากสูตรควบคุม สัมพันธ์กับการยุบตัวของหน้าเค้กเมื่อทำให้เย็นลง ดังแสดงใน Figure 1 Wilderjans et al. [15] ศึกษาการใช้ HDP ซึ่งตัดแปรจากสตาร์ชข้าวสาลี ทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสาลีในสัดส่วนร้อยละ 30 ในสูตรเค้กปอนด์ที่ประกอบด้วย แป้ง:น้ำตาลทราย:มาการีน:ไข่ไก่ เป็น 1:1:1:1 และพบว่า เค้กปอนด์สูตร HDP ร้อยละ 30 มีการยุบตัวของเค้กหลังอบมากกว่า และมีความหนาแน่นของเค้กสูงกว่า (หรือมีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่า) เค้กปอนด์สูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเค้กสปันจ์จากงานวิจัยนี้

Wilderjans et al. [15] รายงานว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ในสูตรเค้กปอนด์ ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมเหลวเพิ่มขึ้นเร็วเกินไปขณะอบ ซึ่งเป็นผลจากการที่ HDP มีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันที่ต่ำกว่าฟลาวัวร์

ข้าวสาลี จึงทำให้เม็ดสตาร์ชตัดแปรดังกล่าวดูดน้ำพองตัว และให้ความหนืดที่สูงขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำลง (การอบผ่านไปไม่นาน) ปรากฏการณ์ดังกล่าวถือเป็นอุปสรรคต่อการขึ้นฟูของเค้กระหว่างการอบ ผู้วิจัยยังได้รายงานค่าการขึ้นฟู (oven spring) ซึ่งพิจารณาจากความแตกต่างระหว่างความสูงของเค้กที่จุดกึ่งกลางเมื่อเริ่มการอบ และค่าความสูงดังกล่าวที่มีค่าสูงสุดระหว่างการอบ และพบว่าค่าการขึ้นฟูของเค้กปอนด์สูตร HDP ร้อยละ 30 มีค่าต่ำกว่าค่าดังกล่าวของเค้กปอนด์สูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ HDP ยังเกิดริโทรกราเดชัน (เกิดเจล) ได้ไม่ดีเท่าสตาร์ชในแป้งสาลี จึงใช้เวลานานกว่าในการเกิดเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงและคงตัวดี ในระหว่างที่พักไว้ให้เย็นตัวลง เนื้อเค้กของเค้กปอนด์สูตรผสม HDP ซึ่งมีโครงสร้างที่อ่อนแอกว่าสูตรควบคุม จึงไม่สามารถรักษารูปร่างเดิมไว้ได้ เมื่อพิจารณาจากค่าการยุบตัว (collapse) ซึ่งพิจารณาจากความแตกต่างระหว่างความสูงของเค้กที่จุดกึ่งกลางที่มีค่าสูงสุดระหว่างการอบ และค่าดังกล่าวหลังทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง ก็พบว่าเค้กปอนด์สูตร HDP ร้อยละ 30 มีค่าการยุบตัวที่มากกว่าเค้กปอนด์สูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจใช้ในการอธิบายผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและลักษณะปรากฏของเค้กสปันจ์จากการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ในงานวิจัยนี้ได้เช่นเดียวกัน

Table 3 Physical properties of the sponge cakes containing different levels of HDP

Level of wheat flour substitution by HDP	Specific volume of cake (mL/g)	Weight loss during baking (%)	Standing height (cm)	Volume index (cm)	a_w^{ns}
0%	5.14 ^a ± 0.38	13.14 ^c ± 0.12	2.81 ^a ± 0.23	7.91 ^a ± 0.43	0.80 ± 0.02
20%	3.52 ^b ± 0.24	14.18 ^{bc} ± 0.21	2.07 ^b ± 0.11	6.53 ^b ± 0.11	0.82 ± 0.02
30%	3.23 ^b ± 0.28	23.94 ^a ± 1.63	2.00 ^b ± 0.27	6.86 ^b ± 0.24	0.84 ± 0.01
40%	3.98 ^b ± 0.16	16.86 ^b ± 1.25	1.80 ^b ± 0.08	6.95 ^b ± 0.27	0.84 ± 0.01

Data were reported as mean ± standard deviation of duplicate experiments

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different ($p \leq 0.05$)

ns Means within the same column were not significantly different ($p > 0.05$)

* Corresponding author e-mail: *Kanitha.T@chula.ac.th

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

²Special Task force of Activating Research (STAR) in Novel Technology for Food Packaging and Control of Shelf Life, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

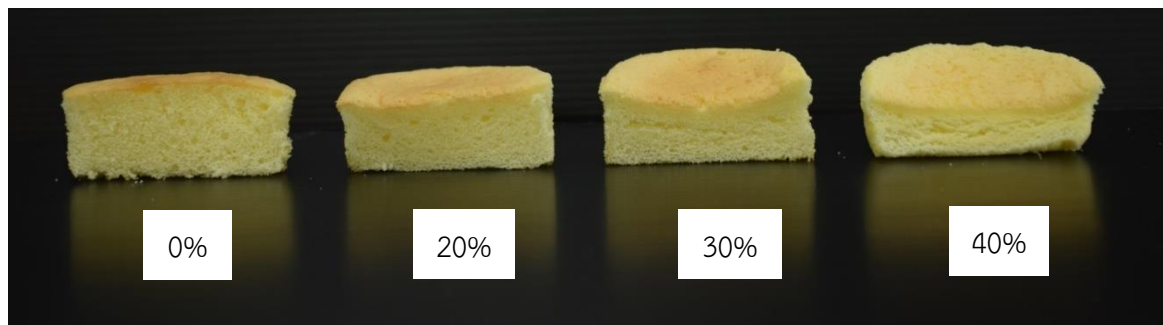


Figure 1 Cross section of the sponge cakes at different levels of wheat flour substitution by HDP

นอกจากนี้ยังพบว่าโพรงอากาศของเค้กสปันจ์ที่ระดับการทดแทนต่างๆ มีลักษณะที่แตกต่างกันไป โดยเมื่อระดับการทดแทนด้วย HDP สูงขึ้น โพรงอากาศขนาดใหญ่มีจำนวนเพิ่มขึ้น และมีการกระจายตัวของโพรงอากาศที่ไม่สม่ำเสมอ (Figure 2) อาจเนื่องจากการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ทำให้ความหนืดของส่วนผสมข้นเหนียวเพิ่มขึ้นเร็วกว่าค่าของสูตรควบคุม ซึ่งขัดขวางการขึ้นฟูของเค้กในเตาอบดังที่ได้อธิบายไว้ในงานวิจัยของ Wilderjans et al. [15] และส่งผลต่อการกระจายตัวและขนาดของโพรงอากาศในเนื้อเค้กดังแสดงใน

Figure 2 ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเค้กยังอาจเกี่ยวข้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบ (Table 3) กล่าวคือ การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 30-40 ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าน้ำหนักที่สูญเสียเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโพรงอากาศขนาดใหญ่มีจำนวนเพิ่มขึ้น จึงอาจทำให้สูญเสียน้ำหนักขณะอบได้มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม เค้กสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ทุกสูตร มีค่า a_w ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) แสดงว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ไม่มีผลต่อค่า a_w ของเค้กสปันจ์

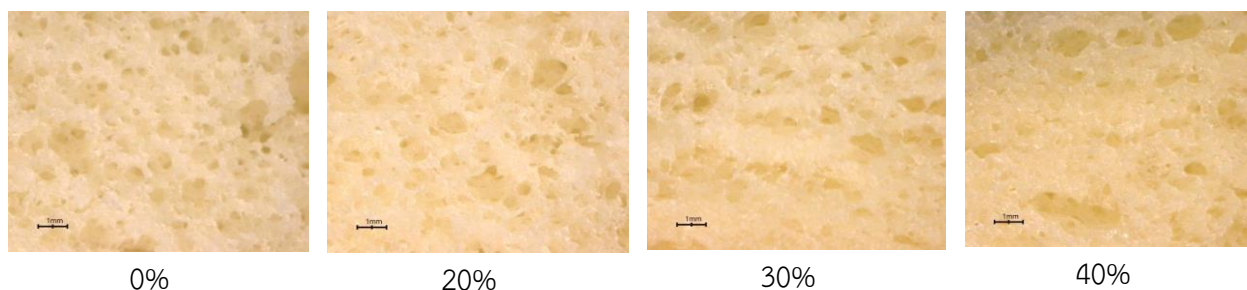


Figure 2 Crumb structure of the sponge cakes at different levels of wheat flour substitution by HDP

เมื่อพิจารณาค่าทางเนื้อสัมผัสของเค้ก (Table 4) พบว่า สูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 40 มีค่า hardness ต่ำกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ทุกระดับ ส่งผลให้เค้กมีค่า gumminess ต่ำกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า springiness cohesiveness และ chewiness ของเค้กสปันจ์ทั้ง 4 สูตรไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) Wilderjans et al. [15] รายงานว่า ค่า Intrinsic firmness และ springiness ของเค้กปอนด์สูตรทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับ

ร้อยละ 30 ต่ำกว่าค่าดังกล่าวของเค้กปอนด์สูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสูตรของเค้กที่ใช้ในงานวิจัยมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจทำให้การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับเดียวกันส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเค้กได้เล็กน้อยแตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแนวโน้มโดยรวมพบว่า HDP ทำให้เค้กสปันจ์และเค้กปอนด์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ HDP เกิดรีโทรกราเดชันไม่ดี จึงทำให้เกิดเจลสตาร์ชที่มีความแน่นเหนือน้อย (ค่า hardness

* Corresponding author e-mail: Kanitha.T@chula.ac.th

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรรจุภัณฑ์และการควบคุมอายุการเก็บอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

ลดลง) ซึ่งจะเห็นได้ชัดในสูตร HDP ร้อยละ 40 ของเค้กสปันจ์ และทำให้ค่า Gumminess ซึ่งสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารให้อยู่ในสภาพที่

พร้อมจะกลืนได้ และเป็นผลลัพธ์จาก Hardness x Cohesiveness [4] ลดลงด้วยเช่นกัน

Table 4 Textural parameters of the sponge cakes containing different level of HDP

Level of wheat flour substitution by HDP	Hardness (kg- force)	Springiness ^{ns}	Cohesiveness ^{ns}	Gumminess (kg- force)	Chewiness ^{ns} (kg- force)
0%	0.64 ^a ± 0.10	0.46 ± 0.10	0.83 ± 0.01	0.53 ^a ± 0.08	0.25 ± 0.09
20%	0.52 ^a ± 0.08	0.44 ± 0.04	0.78 ± 0.05	0.40 ^b ± 0.04	0.18 ± 0.03
30%	0.53 ^a ± 0.07	0.49 ± 0.03	0.77 ± 0.03	0.41 ^b ± 0.04	0.20 ± 0.01
40%	0.31 ^b ± 0.00	0.53 ± 0.03	0.72 ± 0.02	0.22 ^c ± 0.01	0.12 ± 0.00

Data were reported as mean ± standard deviation of duplicate experiments

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different (p<0.05)

ns Means within the same column were not significantly different (p>0.05)

การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ร้อยละ 20-40 ส่งผลให้เค้กได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏต่ำกว่าสูตรควบคุม (p<0.05) (Table 5) เนื่องจากการทดแทนด้วย HDP ทำให้เกิดการยุบตัวของหน้าเค้กหลังอบ เนื่องจากการเกิดโรโทรกราเดชันที่ไม่ดีของ HDP ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น การเปลี่ยนแปลงนี้จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อทดแทนด้วย HDP ในระดับที่เพิ่มขึ้น (Figure 1) ซึ่งส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค แต่คะแนนความชอบด้านสีที่เปลือกนอก เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมของเค้กสปันจ์ทุกสูตรไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ทั้งนี้ จากการวัดค่าสีในระบบ CIE L* a* b* ของตัวอย่าง

เค้กพบว่า สีที่เปลือกนอกของเค้กทุกสูตรไม่ต่างกัน (p>0.05) (ไม่แสดงข้อมูลในที่นี้) ซึ่งแสดงว่า HDP ไม่มีองค์ประกอบที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการเกิดสีที่เปลือกนอกของเค้ก จึงสอดคล้องกับการที่เค้กทุกสูตรได้รับคะแนนความชอบด้านสีที่ไม่ต่างกันด้วย ทั้งนี้ จากผลการทดลองโดยภาพรวมแสดงให้เห็นว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ไม่ส่งผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ ยกเว้นลักษณะปรากฏ และเค้กทุกสูตรได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6)

Table 5 Hedonic scores of sponge cakes containing different level of HDP

Level of wheat flour substitution by HDP	Appearance	Crust color ^{ns}	Texture ^{ns}	Taste ^{ns}	Overall acceptance ^{ns}
0%	5.59 ^a ± 1.29	5.69 ± 1.03	4.88 ± 1.39	5.00 ± 1.27	5.09 ± 1.17
20%	5.06 ^b ± 0.98	5.47 ± 0.95	5.09 ± 1.49	5.31 ± 1.26	5.31 ± 1.18
30%	5.03 ^b ± 1.26	5.50 ± 0.95	5.06 ± 1.24	5.25 ± 1.11	5.34 ± 0.87
40%	4.28 ^c ± 1.28	5.31 ± 1.03	4.59 ± 1.39	5.34 ± 0.97	4.97 ± 1.07

Data were reported as mean ± standard deviation, in 7-point hedonic scale, obtained from 32 panelists

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different (p<0.05)

ns Means within the same column were not significantly different (p>0.05)

* Corresponding author e-mail: *Kanitha.T@chula.ac.th

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

²Special Task force of Activating Research (STAR) in Novel Technology for Food Packaging and Control of Shelf Life, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมด จึงเลือกเค้กสปันจ์สูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับการทดแทน ร้อยละ 30 มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เพราะเป็นระดับการทดแทนสูงสุดที่ทำให้เค้กมีค่า Hardness ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) และมีคะแนนความชอบในแต่ละด้านไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้นด้านลักษณะปรากฏ แต่มีคะแนนดังกล่าวไม่ต่างจากสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 20 ($p > 0.05$) และยังคงได้รับคะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6) เช่นเดียวกับสูตรควบคุม นอกจากนี้ การเลือกสูตรเค้กที่มีระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 30 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดไปทดลองศึกษาผลของ HDP ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเค้กระหว่างการเก็บรักษา อาจทำให้เห็นผลของการชะลอการเกิดสเตลิงเนื่องจาก HDP ได้ชัดเจนกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งมี HDP ในสัดส่วนที่ต่ำกว่าอีกด้วย

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเค้กสปันจ์

จากสมบัติทางกายภาพของเค้กสูตรควบคุม ระหว่างเก็บรักษา (Table 6) พบว่า เค้กที่อบเสร็จใหม่ (0

วัน) มีค่า a_w ที่ผิวหน้าต่ำกว่าที่เนื้อใน เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น a_w และความชื้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ a_w และความชื้นที่เนื้อในลดลง เนื่องจากความแตกต่างของ a_w ระหว่างผิวหน้าและเนื้อในของเค้ก ทำให้น้ำที่อยู่ภายในเนื้อเค้กเคลื่อนที่ไปที่ผิวหน้าของเค้ก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดมากในช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 0 ถึง 2 แต่เมื่อเก็บนานกว่า 2 วัน a_w ที่ผิวหน้าและเนื้อในค่อนข้างคงที่และมีค่าใกล้เคียงกัน จึงเกิดการถ่ายโอนความชื้นที่ส่วนต่างๆ ของเค้กน้อยลง สังเกตได้จากตั้งแต่วันที่ 2 ถึง 7 ค่าความชื้นที่ผิวหน้าและเนื้อในมีค่าใกล้เคียงกันด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า การสูญเสียความชื้นออกจากบรรจุภัณฑ์เกิดน้อยมากในระหว่างการเก็บ (ไม่เกินร้อยละ 0.33 ของน้ำหนักเริ่มต้น) เพราะถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุตัวอย่างนั้นมีค่าอัตราการซึมผ่านของความชื้นต่ำมาก ($0.02 \pm 0.01 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$) จึงช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา การถ่ายโอนความชื้นจึงเกิดขึ้นภายในก้อนเค้กเป็นส่วนใหญ่

Table 6 Physical properties of the control formula of sponge cake samples during storage

Storage time (days)	Weight loss (%)	a_w of exterior part	a_w of interior part	Moisture content of exterior part (%)	Moisture content of interior part ^{ns} (%)
0	$0.00^d \pm 0.00$	$0.80^b \pm 0.01$	$0.93^a \pm 0.00$	$19.73^b \pm 3.18$	28.79 ± 2.52
2	$0.13^c \pm 0.04$	$0.86^a \pm 0.01$	$0.88^b \pm 0.01$	$25.95^a \pm 0.30$	27.43 ± 0.49
4	$0.22^b \pm 0.05$	$0.87^a \pm 0.01$	$0.88^b \pm 0.01$	$25.32^a \pm 0.68$	26.71 ± 0.35
7	$0.33^a \pm 0.06$	$0.87^a \pm 0.00$	$0.88^b \pm 0.00$	$26.23^a \pm 0.61$	27.11 ± 0.50

Data were reported as mean \pm standard deviation of at least triplicate experiments

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different ($p \leq 0.05$)

ns Means within the same column were not significantly different ($p > 0.05$)

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า hardness gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้น แต่ค่า cohesiveness ลดลงจากวันที่ 0 ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า adhesiveness และ springiness มีแนวโน้มการ

เปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจนระหว่างเก็บ (Table 7) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าลักษณะเนื้อสัมผัส มีสาเหตุมาจากการเกิดสเตลิงในระหว่างการเก็บ เนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชและการถ่ายเทความชื้น ทำให้เค้กมีลักษณะเนื้อ

* Corresponding author e-mail: Kanitha.T@chula.ac.th

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรรจุภัณฑ์และการควบคุมอายุการเก็บอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

สัมผัสแห้งและร่วนมากขึ้น [3] เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เนื้อเค้กจึงมีความแข็งกระด้างเพิ่มขึ้น (hardness เพิ่มขึ้น) ต้องใช้พลังงานในการบดเคี้ยวมากขึ้น (gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้น) แต่เนื้อสัมผัสมีลักษณะร่วน จึงมีการเกาะตัวกันของเนื้อเค้กลดลง (cohesiveness ลดลง) โดยการเปลี่ยนแปลงค่า hardness cohesiveness gumminess และ chewiness เกิดมากในช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 0 ถึง 2 ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับการ

เปลี่ยนแปลงค่า a_w ที่ผิวนอกและเนื้อในจาก Table 6 แสดงว่าการเกิดสเตลิงในเค้กอาจมีสาเหตุหลักมาจากการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อในไปยังผิวนอกด้วย [16] ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าทางเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นน้อยลง ในช่วงวันที่ 2-7 ของการเก็บรักษา (แม้ว่าค่าความชื้นและ a_w ของตัวอย่างจะค่อนข้างคงที่ ไม่ขึ้นกับเวลาการเก็บ) น่าจะเกิดจากรีโทรกราเดชันของสตาร์ชเป็นหลัก

Table 7 Textural parameters of the control formula of sponge cake samples during storage

Storage time (days)	Hardness (kg-force)	Adhesiveness (g-sec)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (kg-force)	Chewiness (kg-force)
0	0.71 ^c ± 0.04	9.03 ^b ± 1.44	0.54 ^a ± 0.05	0.82 ^a ± 0.02	0.58 ^c ± 0.03	0.31 ^b ± 0.04
2	1.07 ^b ± 0.05	9.43 ^b ± 2.84	0.62 ^a ± 0.03	0.76 ^b ± 0.01	0.81 ^b ± 0.04	0.50 ^a ± 0.03
4	1.24 ^a ± 0.05	25.34 ^a ± 9.64	0.54 ^a ± 0.05	0.75 ^b ± 0.01	0.93 ^a ± 0.04	0.50 ^a ± 0.05
7	1.32 ^a ± 0.07	17.38 ^{ab} ± 5.55	0.49 ^b ± 0.01	0.74 ^b ± 0.01	0.97 ^a ± 0.04	0.48 ^a ± 0.03

Data were reported as mean ± standard deviation of quadruplicate experiments

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและเนื้อสัมผัสของเค้กสปันจ์สูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ระดับ ร้อยละ 30 ระหว่างเก็บรักษา (Table 8 and 9) พบว่า ในช่วงวันที่ 0 ถึง 2 ของการเก็บรักษา ค่า a_w ที่ผิวนอกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a_w ที่เนื้อในและความชื้นที่เนื้อในลดลง ($p < 0.05$) จากนั้น a_w จึงมีค่าคงที่ในช่วง

วันที่ 2-7 ของการเก็บ ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้ก ที่พบว่า ค่า hardness gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้นมากในช่วง 2 วันแรกเช่นกัน และผลการทดลองชุดนี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าที่สอดคล้องกับเค้กสูตรควบคุมด้วย (Table 6 and 7)

Table 8 Physical properties of the 30% HDP formula of sponge cake samples during storage

Storage time (days)	Weight loss (%)	a_w of exterior part	a_w of interior part	Moisture content of exterior part ^{ns} (%)	Moisture content of interior part (%)
0	0.00 ^c ± 0.00	0.75 ^c ± 0.00	0.92 ^a ± 0.00	25.42 ± 2.41	36.25 ^a ± 1.21
2	0.21 ^b ± 0.03	0.85 ^b ± 0.00	0.87 ^b ± 0.00	24.29 ± 0.33	26.93 ^b ± 0.64
4	0.20 ^b ± 0.03	0.86 ^a ± 0.00	0.87 ^b ± 0.00	25.39 ± 0.81	25.94 ^b ± 0.47
7	0.32 ^a ± 0.03	0.86 ^a ± 0.01	0.87 ^b ± 0.00	25.44 ± 1.01	26.58 ^b ± 0.97

Data were reported as mean ± standard deviation of at least triplicate experiments

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different ($p < 0.05$)

ns Means within the same column were not significantly different ($p > 0.05$)

* Corresponding author e-mail: *Kanitha.T@chula.ac.th

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

²Special Task force of Activating Research (STAR) in Novel Technology for Food Packaging and Control of Shelf Life, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

Table 9 Textural parameters of the 30% HDP formula of sponge cake samples during storage

Storage time (days)	Hardness (kg-force)	Adhesiveness (g-sec)	Springiness ^{ns}	Cohesiveness ^{ns}	Gumminess (kg-force)	Chewiness (kg-force)
0	0.38 ^d ± 0.04	3.68 ^{ab} ± 0.77	0.53 ± 0.07	0.77 ± 0.04	0.30 ^d ± 0.02	0.16 ^b ± 0.02
2	0.52 ^c ± 0.01	2.69 ^b ± 1.53	0.52 ± 0.04	0.80 ± 0.01	0.41 ^c ± 0.01	0.21 ^a ± 0.01
4	0.56 ^b ± 0.02	4.39 ^a ± 0.88	0.50 ± 0.05	0.79 ± 0.01	0.44 ^b ± 0.01	0.22 ^a ± 0.02
7	0.61 ^a ± 0.01	6.31 ^a ± 1.43	0.48 ± 0.03	0.78 ± 0.01	0.48 ^a ± 0.01	0.23 ^a ± 0.02

Data were reported as mean ± standard deviation of quadruplicate experiments

a, b, c... Means with different letter within the same column were significantly different ($p \leq 0.05$)

ns Means within the same column were not significantly different ($p > 0.05$)

ในระหว่างการเก็บรักษา เค้กสปันจ์ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของ Hardness ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (Figure 3) อาจเป็นเพราะ HDP ช่วยชะลอการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชในเค้กระหว่างการเก็บรักษาได้ แต่ไม่สามารถชะลอการถ่ายโอนความชื้นภายในก้อนเค้ก

ระหว่างการเก็บ อย่างไรก็ตาม HDP ส่งผลดีต่อคุณภาพของเค้กโดยรวมในระหว่างการเก็บรักษา กล่าวคือ ช่วยชะลอการเกิดสเตลิง ทำให้เค้กมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งและร่วนซาลงในขณะที่เก็บรักษาเมื่อเทียบกับเค้กสูตรควบคุม

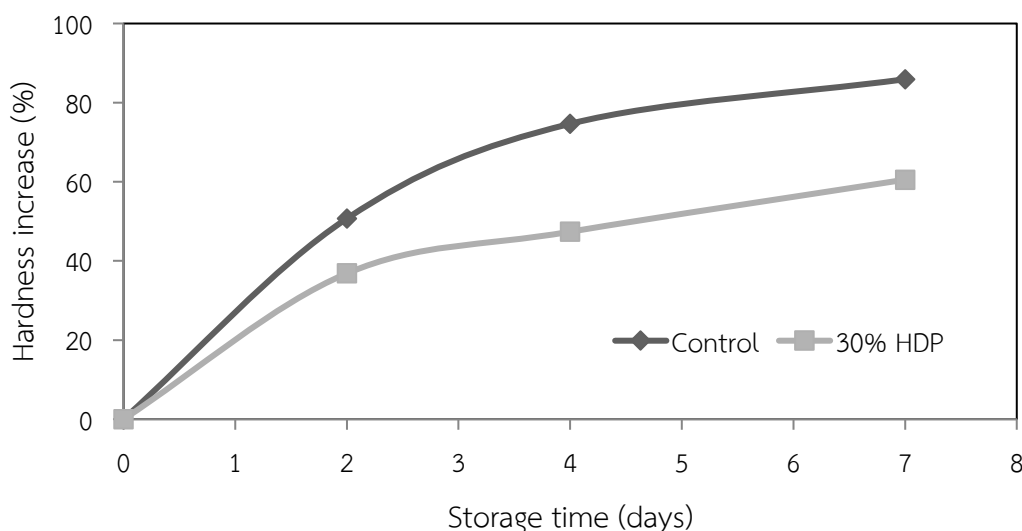


Figure 3 Percentage of the increase in hardness of sponge cakes during storage at 25°C for 7 days.

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แป้งมันสำปะหลังตัดแปรชนิด HDP เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเค้กสปันจ์ และชะลอการเสื่อมคุณภาพของเค้กระหว่างการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงหลักที่อาจทำให้เค้กสูตรผสม HDP ไม่เป็นที่ยอมรับของ

ผู้บริโภคคือ การยุบตัวลงของเค้กหลังอบ เนื่องจากสูตรเค้กที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ทำให้ปริมาณกลูเตนโดยรวมลดลง นอกจากนี้ HDP ยังเกิดรีโทรกราเดชันได้ไม่ดี จึงลดความคงตัวของโครงสร้างเค้กหลังอบ การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ในระดับที่สูงเกินไปจึงจะทำให้เค้กมีลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นที่ยอมรับของ

* Corresponding author e-mail: Kanitha.T@chula.ac.th

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรรจุภัณฑ์และการควบคุมอายุการเก็บอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

ผู้บริโภค จากผลการทดลองพบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 30 เป็นระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ขึ้นเค้กไม่ยุบตัวลงมากเกินไปหลังอบจนทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ ดังจะเห็นได้จากคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมของเค้กสูตรนี้ ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่า สูตรเค้กที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วย HDP ที่ร้อยละ 30 ช่วยชะลอการเกิดสเตลิงและช่วยรักษาความนุ่มของเนื้อเค้กไว้ได้นานกว่าสูตรควบคุมระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจะส่งผลดีต่อผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง ทั้งนี้ HDP ยังอาจนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเค้กชนิดอื่นๆ และชะลอการเกิดสเตลิงของเค้กระหว่างการเก็บได้ ซึ่งยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันสมมติฐานดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากบริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด และจากโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ โดยคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sakiyan, O., Sumnu, G., Sahin, S. and Bayram, G. (2009). Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter. *European Food Research and Technology*. 219(6): 635-638.
- [2] Yang, X. and Foegeding, E. A. (2010). Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: Factors determining properties of wet and dry foams (cakes). *Food Hydrocolloids*. 24(2): 227-238.
- [3] Poonnakasem, N. (2014). Effect of hydrocolloids and lipids on physicochemical properties and consumer acceptance of sponge cake.

Ph.D. Dissertation, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

- [4] Chaiya, B. and Pongsawatmanit, R. (2011). Quality of batter and sponge cake prepared from wheat- tapioca flour blends. *Kasetsart Journal of Natural Science*. 45(2): 305-313.
- [5] Singh, J., Kaur, L. and McCarthy, O. J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food Hydrocolloids*. 21: 1-22.
- [6] Tulyathan, V. (2006). *Food Chemistry of Carbohydrate*. Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- [7] Kim, C.S. and Walker, C.E. (1992). Interactions between starches, sugars, and emulsifiers in high-ratio cake model systems. *Cereal Chemistry*. 69(2): 206-212.
- [8] Lee, C.C., Hosoney, R.C. and Varriano-Marston, E. (1982). Development of a laboratory-scale single-stage cake mix. *Cereal Chemistry*. 59(2): 389 - 392.
- [9] Baker, B.A., Davis, E.A. and Gordon, J. (1990). The influence of sugar and emulsifier type during microwave and conventional heating of a lean formula cake batter. *Cereal Chemistry*. 67(3): 451-457.
- [10] Pong, L., Johnson, J.M., Barbeau, W.E. and Stewart, D. L. (1991). Evaluation of alternative fat and sweetener systems in cupcakes. *Cereal Chemistry*. 68(5): 552-555.
- [11] Cloke, J.D., Davis, E.A. and Gordon, J. (1984). Volume measurements calculated by

* Corresponding author e-mail: *Kanitha.T@chula.ac.th

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

²Special Task force of Activating Research (STAR) in Novel Technology for Food Packaging and Control of Shelf Life, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

- several methods using cross-sectional tracings of cake. *Cereal Chemistry*. 61(4): 375-377.
- [12] Lee, C.C., Johnson, L.A., Love, J.A. and Johnson, S. (1991). Effects of processing and usage level on performance of bovine plasma as an egg white substitute in cakes. *Cereal Chemistry*. 68(1): 100-104.
- [13] AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis*. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- [14] Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K. and Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology*. 30(1): 6-15.
- [15] Wilderjans, E., Luyts, A., Goesaert, H., Brijs, K. and Delcour, J. A. (2010). A model approach to starch and protein functionality in a pound cake system. *Food Chemistry*. 120(1): 44-51.
- [16] Luyts, A., Wilderjans, E., Van Haesendonck, I., Brijs, K., Courtin, C.M. and Delcour, J.A. (2013). Relative importance of moisture migration and amylopectin retrogradation for pound cake crumb firming. *Food Chemistry*. 141(4): 3960-3966.

* Corresponding author e-mail: Kanitha.T@chula.ac.th

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรรจุภัณฑ์และการควบคุมอายุการเก็บอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร