วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 31, ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2564
*The Journal of KMUTNB., Vol. 31, No. 4, Oct.–Dec. 2021*

บทความวิจัย

# การใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองเป็นสารเคลือบบริโภคได้เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด

นาฏกาญจน์ จักรานุวัฒน์*
ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
ธีรวรรณ สุวรรณ์
ภาควิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 2495 0935 อีเมล: nattakan.c@agro.kmutnb.ac.th DOI:10.14416/j.kmutnb.2021.05.031
รับเมื่อ 15 พฤษภาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 22 มิถุนายน 2563 ตอบรับเมื่อ 24 มิถุนายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 25 พฤษภาคม 2564
© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองมาพัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคได้ โดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกศึกษาการปรับปรุงคุณภาพสารเคลือบกากถั่วเหลืองโดยใช้กรดซิตริก 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.03, 0.05 และ 0.07 โดยน้ำหนัก และการทดลองที่สองศึกษาผลของความเข้มข้นพลาสติไซเซอร์คือ ซอร์บิทอล (ร้อยละ 7, 8 และ 9 โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองเพื่อลดการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งทอด ผลการทดลองแรกพบว่า การเติมกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ส่งผลให้สารเคลือบบริโภคได้มีค่าการเกาะติดสูงที่สุด ($p < 0.05$) ผลการทดลองที่สองพบว่า การเติมซอร์บิทอลในสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองมีผลต่อการดูดซับน้ำมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมันฝรั่งทอดที่เคลือบสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองร่วมกับการใช้ซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 8 มีปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปและปริมาณไขมันทั้งหมดน้อยที่สุด โดยมันฝรั่งทอดมีความกรอบขึ้น และสีที่เหลืองเข้มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า การใช้สารเคลือบบริโภคได้เพื่อลดน้ำมันถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อให้ได้อาหารทอดที่ดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

**คำสำคัญ**: กากถั่วเหลือง สารเคลือบบริโภคได้ ซอร์บิทอล ดูดซับน้ำมัน

การอ้างอิงบทความ: นาฏกาญจน์ จักรานุวัฒน์ และ ธีรวรรณ สุวรรณ์, "การใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองเป็นสารเคลือบบริโภคได้เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 4, หน้า 736–745, ต.ค.–ธ.ค. 2564.

Research Article

# Utilization of Edible Coating from Okara to Reduce Oil Uptake in Fried Potato

Nattakan Jakkranuhwat*
Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Prachin Buri, Thailand
Teerawan Suwan
Department of Innovation and Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Prachin Buri, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 2495 0935, E–mail: nattakan.c@agro.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.031
Received 15 May 2020; Revised 22 June 2020; Accepted 24 June 2020; Published online: 25 May 2021
© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

**Abstract**

The objective of this research is to make use of edible coating from okara which is the soybean residue after the manufacture of soymilk. The research procedure consisted of 2 experiments, i.e. the edible coating improvement and its effect investigation. First, the improvement of edible coating from okara was improved by using citric acid (0.03, 0.05 and 0.07% w/w). In the second experiment, the researcher investigated the effect of difference plasticizer concentration (sorbitol: 7, 8 and 9% w/w) on okara coating in reducing oil uptake in fried potato. The result of the first experiment indicated that 0.05 % (w/w) citric acid had the statistically significant level in reducing oil uptake ($p < 0.05$). The result of the second experiment showed that the okara coating plasticized with sorbitol was effective to reduce oil uptake in fried potato with statistical significance ($p < 0.05$). The fried potato coated with okara coating combined with 8% (w/w) sorbitol showed both the lowest moisture loss and total oil content. This resulted in more crispy texture and darker yellow color when compared with the control samples. In conclusion, edible coating to reduce oil uptake will be an alternative process for healthy fried foods.

**Keywords**: Okara, Edible Coating, Sorbitol, Oil Uptake

Please cite this article as: N. Jakkranuhwat and T. Suwan, "Utilization of edible coating from okara to reduce oil uptake in fried potato," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 4, pp. 736–745, Oct.–Dec. 2021 (in Thai).

## 1. บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความสนใจในเรื่องสุขภาพ โดยมีแนวโน้มต้องการอาหารที่มีไขมันต่ำมากขึ้น เนื่องจากการรับประทานไขมันที่มากเกินไปมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดที่เกิดจากการสะสมของไขมันบนผนังของหลอดเลือด อย่างไรก็ตาม อาหารประเภททอดซึ่งเป็นอาหารที่มีปริมาณไขมันสูงยังคงได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เนื่องจากอาหารทอดมีกลิ่นรสเฉพาะตัว มีเนื้อสัมผัสกรุบกรอบ จึงมีวิธีลดปริมาณน้ำมันในอาหารทอดหลายวิธี เช่น การใช้เครื่องทอดสุญญากาศ (Vacuum Fryer) แต่วิธีนี้ยังมีข้อจำกัดด้านการใช้งานที่ยุ่งยาก ต้นทุนสูง และสิ้นเปลืองพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องจักร หรือการอบแห้งก่อนการทอดเพื่อลดความชื้นเริ่มต้นในอาหารก่อนทอดเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณน้ำมันในอาหารทอดได้ แต่วิธีนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สารเคลือบบริโภคได้เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความสนใจที่ใช้ในการลดปริมาณน้ำมันในอาหารทอด เนื่องจากต้นทุนต่ำ รวมถึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

สารเคลือบบริโภคได้ (Edible Coating) คือ ฟิล์มที่เกิดบนผิวของอาหารโดยตรงจากการจุ่มหรือการฉีดพ่นลงบนผลิตภัณฑ์อาหารในรูปสารละลาย [1] เพื่อการป้องกันการสูญเสียความชื้น การดูดซับน้ำมัน ก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยใช้วัสดุจากพอลิเมอร์ชีวภาพ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ประสิทธิภาพและสมบัติของสารเคลือบขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่นำมาใช้ โดยงานวิจัยของ Hua และคณะ [2] ได้ศึกษาสารเคลือบบริโภคได้จากเพคตินจากฐานดอกทานตะวันเพื่อลดการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งทอดพบว่า ตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบบริโภคได้สามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่ามันฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบ นอกจากนี้ Freitas และคณะ [3] พบว่า การใช้สารเคลือบจากเวย์โปรตีนมีสมบัติป้องกันการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทอดได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เพคตินและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง จากงานวิจัยข้างต้นพบว่า วัสดุที่เหมาะสมในการใช้เพื่อลดการดูดซับน้ำมันควรเป็นสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ เช่น สารเคลือบจากโปรตีน (Protein Based Coating) และสารเคลือบจากพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide Based Coating) เนื่องจากมีลักษณะความเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) สามารถช่วยลดปริมาณการดูดซับน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอดได้ [4] และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของสารเคลือบบริโภคได้ จึงมีการเติมพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ลงไป โดยซอร์บิทอล (Sorbitol) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้ในการลดการซึมผ่านของน้ำมัน เนื่องจากมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่าน (Barrier Properties) โดยลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ที่ถูกทอดและช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำให้สูงขึ้น [5], [6]

น้ำเต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายในครัวเรือน ราคาไม่แพง เก็บรักษาง่าย จากขั้นตอนการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองจะมีกากถั่วเหลือง (Okara) เป็นวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ [7] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารมาเพิ่มมูลค่า และพัฒนาแนวทางการใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองพัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคได้ในการควบคุมการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดเพื่อสุขภาพที่ดีขึ้นของผู้บริโภค

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

2.1.1 การเตรียมกากถั่วเหลือง นำกากถั่วเหลืองจากกระบวนการผลิตน้ำเต้าหู้จากร้านน้ำเต้าหู้ ณ ตลาดต้องชม จังหวัดปราจีนบุรี ขนส่งมายังคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี แบ่งตัวอย่างปริมาณ 100 กรัม ใส่ในถาดอะลูมิเนียมขนาด 30 × 20.5 เซนติเมตร (กว้าง × ยาว) อบแห้งในตู้อบแห้งแบบถาด (Tray Drying) ที่อุณหภูมิ 80±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที (ความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 7.94±0.22) จากนั้นนำกากถั่วเหลืองมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช บรรจุในภาชนะปิดสนิท เก็บไว้

ที่อุณหภูมิห้อง

2.1.2 การเตรียมตัวอย่างมันฝรั่ง นำมันฝรั่งล้างด้วยน้ำที่สะอาดปอกเปลือกและหั่นให้มีขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 1 × 4 × 1 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างไปลวกในน้ำร้อนเป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 85±5 องศาเซลเซียส พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและซับน้ำด้วยกระดาษทิชชู

**2.2 การพัฒนาสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองโดยกรดซิตริก**

นำกากถั่วเหลืองที่เตรียมไว้จากข้อ 2.1.1 ปริมาณ 5 กรัม เติมกรดซิตริกโดยแปรความเข้มข้นเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.03, 0.05 และ 0.07 โดยน้ำหนัก ผสมให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 95±5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที นำมันฝรั่งมาเคลือบด้วยสารละลายแต่ละสภาวะโดยวิธีการจุ่ม (Dipping) เป็นระยะเวลา 5 วินาที นำมาวางบนตะแกรงเป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้สารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองบนผิวมันฝรั่งแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างมาวัดค่าการยึดเกาะ

**2.3 ศึกษาความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ทำสารเคลือบบริโภคได้เพื่อการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด**

นำสารละลายกากถั่วเหลืองที่เติมกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.2 มาเติมพลาสติไซเซอร์ ในงานวิจัยนี้ทดลองโดยใช้พลาสติไซเซอร์ได้แก่ ซอร์บิทอล โดยแปรความเข้มข้นเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 7, 8 และ 9 โดยน้ำหนัก ผสมให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 95±5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที นำมันฝรั่งมาเคลือบด้วยสารละลายแต่ละสภาวะโดยวิธีการจุ่มเป็นระยะเวลา 5 วินาที ผึ่งตัวอย่างบนตะแกรงเป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้สารเคลือบบนผิวมันฝรั่งแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างมาทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 160±5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น น้ำมัน สี และเนื้อสัมผัส

**2.4 การวิเคราะห์คุณภาพ**

2.4.1 ร้อยละการเกาะติดของสารเคลือบบริโภคได้ (Coating Pick-up) ดัดแปลงตามวิธีของ Garmakhany และคณะ [8] โดยการนำมันฝรั่งมาคำนวณค่าร้อยละการเกาะติด ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการเกาะติด} = \frac{(A_2 - A_1)}{A_2} \times 100 \qquad (1)$$

โดย $A_1$ คือ น้ำหนักมันฝรั่งก่อนเคลือบ

$A_2$ คือ น้ำหนักมันฝรั่งหลังเคลือบผิว

2.4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ตามวิธี AOAC [9] (ข้อ 925.10) โดยคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_1 - W)} \times 100 \qquad (2)$$

โดย $W$ คือ น้ำหนักของภาชนะสำหรับหาความชื้น (Moisture Can) พร้อมฝาปิด (กรัม)

$W_1$ คือ น้ำหนักของภาชนะสำหรับหาความชื้นพร้อมฝาปิดและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_2$ คือ น้ำหนักของภาชนะสำหรับหาความชื้นพร้อมฝาปิดและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2.4.3 ปริมาณน้ำมัน ดัดแปลงวิธีของ Rahimi และคณะ [10] แบ่งเป็น

1) ปริมาณน้ำมันที่ผิวของอาหาร (Surface Oil) นำตัวอย่างจุ่มในปิโตรเลียมอีเทอร์ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 วินาที ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์และชั่งน้ำหนักคำนวณปริมาณน้ำมันที่ผิว ดังสมการที่ (3)

2) ปริมาณน้ำมันที่ซึมเข้าสู่อาหาร (Penetrated Oil) นำตัวอย่างจากการหาน้ำมันที่ผิวอาหารมาอบที่อุณหภูมิ 105±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ลงในทิมเบิล เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 150±3 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมสกัดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ชั่งน้ำหนักคำนวณปริมาณน้ำมันในโครงสร้างดังสมการที่ (3)

ร้อยละน้ำมัน = $\frac{(S_1 - S_2)}{S} \times 100$ (3)

โดย $S_1$ คือ น้ำหนักบีกเกอร์พร้อมปิโตเลียมอีเทอร์หลังจุ่มตัวอย่าง (กรัม)

$S_2$ คือ น้ำหนักบีกเกอร์เริ่มต้น (กรัม)

$S$ คือ น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

3) ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (Total Oil) คำนวณได้จากผลรวมของปริมาณน้ำมันที่ผิวกับปริมาณน้ำมันในโครงสร้างอาหาร

2.4.4 เนื้อสัมผัส (Texture Analysis)

ใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT. Plus โดยพิจารณาค่าความกรอบ (Crispness)

2.4.5 ค่าสี (Color)

ใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น Color Flex (ใช้โปรแกรม Univeral) วัดค่าสีวัดค่าสีในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ รายงานผลโดยค่า $L^*$ เป็นค่าความสว่าง $a^*$ เป็นค่าสีแดง (+) และสีเขียว (–) และ $b^*$ เป็นค่าสีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (–) คำนวณค่าสีโดยรวม ($\Delta E$) ดังสมการที่ (4)

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^*-L_1^*)^2+(a_2^*-a_1^*)^2+(b_2^*-b_1^*)^2} \quad (4)$$

โดย $L_1^* a_1^*$ และ $b_2^*$ เป็นค่าพารามิเตอร์สีของตัวอย่างควบคุม (ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบสารบริโภคได้)

$L_2^* a_2^*$ และ $b_2^*$ คือ ค่าพารามิเตอร์สีของตัวอย่าง

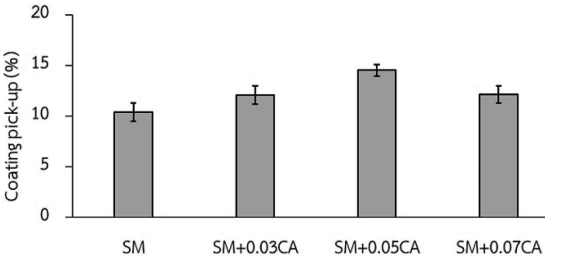
2.4.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 25.0

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 ผลการพัฒนาสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองโดยกรดซิตริก

ร้อยละการเกาะติดของสารเคลือบบริโภคได้จากผลการทดลองพบว่า การเติมกรดซิตริกส่งผลให้สารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองมีค่าร้อยละการเกาะติดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าจากร้อยละ 10.38±0.90 เพิ่มอยู่ในช่วงร้อยละ 12.07–14.54 (รูปที่ 1) โดยปกติกากถั่วเหลืองมีสารอาหารอื่นเจือปน เช่น ไขมันและโปรตีนที่อยู่ในโครงสร้างเม็ดแป้ง ซึ่งถือเป็นอุปสรรคในการพองตัวของแป้ง ทำให้แป้งมีความหนืดต่ำลง การเติมกรดซิตริกในการทดลองนี้ส่งผลให้หมู่คาร์บอกซิลของกรดซิตริกทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงข้าม (Cross-link) กับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยพันธะโควาเลนต์ที่อุณหภูมิสูง [11] ทำให้เกิดการสลายพันธะภายในร่างแหของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งจึงกระจายตัวแยกออกจากกันจนสามารถพองตัวได้ ทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละการเกาะติดเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองพบว่า การใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ส่งผลให้สารเคลือบบริโภคได้มีค่าการเกาะติดสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริกสูงเกินไป (ร้อยละ 0.07) ส่งผลให้สารเคลือบบริโภคได้มีค่าการเกาะติดน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงข้ามที่เพิ่มขึ้นมากจนทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งสูงเกินไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อยลง ความหนืดของแป้งจึงน้อยลง [12] จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าการเติมกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 เป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบบริโภคได้ต่อไป



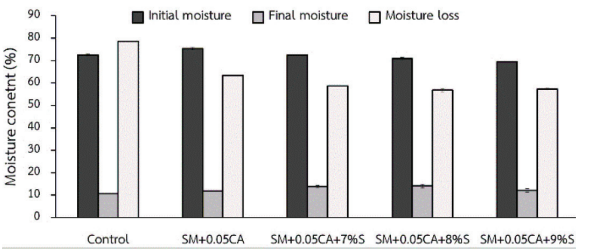

**รูปที่ 1** การเกาะติดของสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองร่วมกับการใช้กรดซิตริก

**หมายเหตุ:** SM คือ กากถั่วเหลือง และ CA คือ กรดซิตริก

### 3.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ทำสารเคลือบบริโภคได้เพื่อการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด

3.2.1 ปริมาณความชื้น

จากผลการทดลองพบว่า มันฝรั่งที่ไม่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลือง (ตัวอย่างควบคุม) และมันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองปรับปรุงด้วยกรดซิตริกมีการสูญเสียความชื้นในระหว่างกระบวนการทอดเท่ากับร้อยละ 78.61±0.20 และ 63.44±0.30 ตามลำดับ (รูปที่ 2) โดยในระหว่างกระบวนการทอด ความร้อนจากน้ำมันจะถ่ายเทไปยังชิ้นมันฝรั่ง ทำให้น้ำในชิ้นอาหารระเหยออกมาสู่ภายนอก [13] ความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างจึงลดลงเท่ากับ 10.69±0.04 และ 11.82±0.02 สำหรับตัวอย่างควบคุมและมันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองปรับปรุงด้วยกรดซิตริกตามลำดับ โดยการเคลือบมันฝรั่งด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองพบว่า ความชื้นของอาหารสูญเสียไปน้อยกว่ามันฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบ เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของแป้งเมื่อได้รับความร้อนจะมีความหนืดเกิดขึ้นและเกิดเป็นเจลปกคลุมชิ้นอาหาร ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นอาหารจากกระบวนการทอด [14] จากนั้นเมื่อนำสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองเติมซอร์บิทอลซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์พบว่า ตัวอย่างมีการสูญเสียปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปกติพลาสติไซเซอร์เป็นโมเลกุลที่มีขั้ว (Hydrophilic) จะไปแทรกตัวอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งถือเป็นการลดแรงภายในระหว่างโมเลกุล (Intermolecular Forces) ของพอลิเมอร์ จึงเกิดเป็นช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้คุณสมบัติการซึมผ่านได้ของสารเคลือบบริโภคได้เปลี่ยนแปลงไป [15] รวมถึงซอร์บิทอลซึ่งเป็นสารดูดความชื้น สามารถกักเก็บความชื้นได้เมื่อนำตัวอย่างไปทอดความชื้นสุดท้ายในชิ้นอาหารภายหลังการทอดยังคงมีปริมาณสูง [6] นอกจากนี้การใช้ซอร์บิทอลในสารเคลือบบริโภคได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7, 8 และ 9 ส่งผลให้มันฝรั่งทอดมีที่สูญเสียไปเท่ากับร้อยละ 58.64±0.26, 56.81±0.76 และ 57.34±0.40 ตามลำดับ กล่าวคือการเพิ่มความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มความมีขั้วให้กับสารเคลือบบริโภคได้ ถือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บความชื้นภายในอาหารดีขึ้น [16]

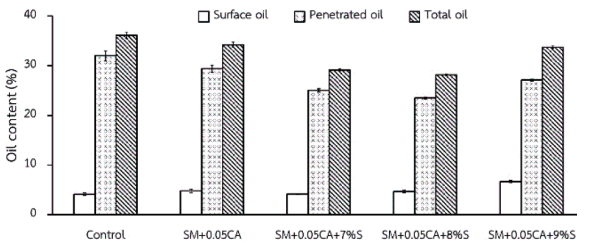



**รูปที่ 2** ปริมาณความชื้นของมันฝรั่งทอด

**หมายเหตุ:** Control คือ ไม่มีการเคลือบสารเคลือบบริโภคได้ SM คือ กากถั่วเหลือง CA คือ กรดซิตริก และ S คือ ซอร์บิทอล

3.2.2 ปริมาณน้ำมัน

จากผลการทดลองพบว่า มันฝรั่งมีองค์ประกอบของไขมันเท่ากับร้อยละ 0.93±1.27 และเมื่อนำมันฝรั่งมาทอดพบว่า ตัวอย่างมีปริมาณน้ำมันทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 36.12±0.88 เป็นปริมาณน้ำมันที่ผิวร้อยละ 4.10±0.24 และปริมาณน้ำมันในโครงสร้างร้อยละ 32.02±0.95 (รูปที่ 3) โดยปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการทอดเป็นกระบวนการที่มีการส่งผ่านความร้อนจากน้ำมันไปสู่ชิ้นอาหาร ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของน้ำภายในชิ้นอาหารสู่ภายนอกและในขณะเดียวกันจะเกิดการแทนที่ของน้ำมันสู่ภายในชิ้นอาหาร โดยเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิสูงส่งผลให้น้ำในอาหารได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ออกมาตามช่องต่างๆ ที่ผิวอาหาร ทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นอาหารลดลงขณะเดียวกันน้ำมันซึมผ่านเข้าไปแทนที่ในชิ้นอาหาร [17] กล่าวคือปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในชิ้นอาหารจะแปรผกผันกับปริมาณความชื้นในชิ้นสุดท้ายในอาหาร จากนั้นเมื่อนำมันฝรั่งมาเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกพบว่า ตัวอย่างมีปริมาณน้ำมันทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 34.18±0.56 ซึ่งลดลงจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันที่ซึมเข้าสู่อาหารพบว่า ลดลงจากตัวอย่างควบคุมเช่นกัน




**รูปที่ 3** ปริมาณน้ำมันของมันฝรั่งทอด

**หมายเหตุ:** Control คือ ไม่มีการเคลือบสารเคลือบบริโภคได้, SM คือ กากถั่วเหลือง, CA คือ กรดซิตริก และ S คือ ซอร์บิทอล

โดยเท่ากับร้อยละ 29.40±0.74 เนื่องจากสารเคลือบบริโภคได้มีลักษณะเป็นฟิล์มปกคลุมอาหาร ทำหน้าที่ขวางกั้นการซึมผ่านของน้ำ ทำให้ความชื้นสูญเสียออกมาได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่เข้าไปแทนที่ได้ลดลงด้วย [18]

นอกจากนี้การใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ทำให้มันฝรั่งทอดมีปริมาณน้ำมันทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมและมันฝรั่งที่เคลือบสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกอย่างเดียวตามลำดับ เนื่องจากซอร์บิทอลเป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม แทรกตัวอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ของกรดซิตริกซึ่งทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงข้ามกับพอลิแซ็กคาไรด์ในกากถั่วเหลือง โดยซอร์บิทอลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว โดยตามกฎ Like Dissolves Like สารที่มีขั้วจะดึงดูดกันด้วยแรงไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole) ขณะที่สารที่ไม่มีขั้ว เช่น น้ำมัน จะดึงดูดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลล์ ดังนั้น พลาสติไซเซอร์จึงไม่สามารถจับกับน้ำมันได้ ส่งผลให้น้ำมันไม่สามารถแพร่ผ่านสารเคลือบเข้าสู่อาหาร [19] โดยมันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองร่วมกับการใช้ซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดน้อยที่สุดคือร้อยละ 28.15±0.24 (ปริมาณน้ำมันที่ผิวและน้ำมันที่ซึมเข้าสู่อาหารเท่ากับร้อยละ 4.66±0.29 และ 23.49±0.19 ตามลำดับ)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซอร์บิทอลจากร้อยละ 8 เป็น 9 โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในมันฝรั่งทอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เป็นผลมาจากจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลของซอร์บิทอลที่เพิ่มขึ้นมากเกินไป ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของซอร์บิทอลจับกันเองด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อนำมันฝรั่งผ่านการทอดทำให้สารเคลือบบริโภคได้ที่ผิวมันฝรั่งเกิดรอยแตกที่ผิวมันฝรั่ง น้ำในมันฝรั่งจึงระเหยออกอย่างรวดเร็วน้ำมันจึงเข้าแทนที่ได้มาก [20] รวมถึงการเพิ่มความเข้มข้นของซอร์บิทอลส่งผลให้สารเคลือบมีความหนืดมากขึ้น สามารถเกิดเป็นชั้นฟิล์มที่หนาขึ้นปกคลุมผิวอาหาร เมื่อนำมันฝรั่งมาทอดจึงเกิดชั้นเปลือกนอก (Crust) เกิดการสะสมของน้ำมันที่บริเวณผิว (การใช้ซอร์บิทอลร้อยละ 8 เป็น 9 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบบริโภคได้ส่งผลให้มันฝรั่งทอดมีปริมาณน้ำมันที่ผิวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.66±0.29 เป็น 6.63±0.30) โดย Krokida และคณะ [21] ให้เหตุผลว่าอาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวหน้าทั้งหมดต่อมวลของอาหารมาก (พิจารณาจากผิวหน้าตัวอย่างมีลักษณะขรุขระ) ทำให้เกิดการสะสมของน้ำมันบริเวณร่องผิวของตัวอย่างอาหาร

3.2.3 เนื้อสัมผัส

นำมันฝรั่งทอดมาวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสโดยวัดค่าความกรอบ (Crispiness) จากการวัดค่าแรงจุดสูงสุดของกราฟที่ทำให้ตัวอย่างแตกโดยการกดตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างที่ใช้แรงในการกดน้อยแสดงว่าตัวอย่างมีความกรอบมาก ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างควบคุม (มันฝรั่งที่ไม่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลือง) และมันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกมีค่าแรงที่ใช้จนเกิดเป็นความกรอบเท่ากับ 182.96±2.70 และ 178.90±0.57 นิวตัน ตามลำดับ กล่าวคือสารเคลือบบริโภคได้ทำให้มันฝรั่งมีความกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารเคลือบบริโภคได้ทำให้ผิวของมันฝรั่งมีลักษณะหนาขึ้น เมื่อนำมันฝรั่งผ่านการทอดพบว่า เกิดความร้อนจากน้ำมันบริเวณผิวหน้าอาหารในระหว่างกระบวนการทอด น้ำที่ผิวจึงเดือดและระเหยออกไป ทำให้ความชื้นผิวหน้าของอาหารแห้งขึ้น เกิดชั้นเปลือกนอกบริเวณผิวหน้ามันฝรั่ง ส่งผลให้มันฝรั่งกรอบขึ้น โดย Ajo และคณะ [22] พบว่า การใช้สารเคลือบ

**ตารางที่ 1** ค่าความกรอบและค่าสีของมันฝรั่งทอด

| Treatment | Crispness (N) | *L** | *a** | *b** | *ΔE* |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | 182.96±2.70$^{b}$ | 54.93±0.92$^{c}$ | 3.47±0.46$^{a}$ | 33.99±0.67$^{a}$ | - |
| SM+0.05CA | 178.90±0.57$^{a}$ | 35.51±0.71$^{a}$ | 8.06±0.80$^{b}$ | 33.51±0.12$^{a}$ | 19.60±1.84$^{b}$ |
| SM+0.05CA+7% S | 175.49±1.44$^{a}$ | 35.38±0.11$^{a}$ | 8.08±0.05$^{b}$ | 34.59±0.64$^{a}$ | 10.03±0.12$^{a}$ |
| SM+0.05CA+8% S | 176.39±1.41$^{a}$ | 36.79±0.43$^{b}$ | 8.91±0.01$^{b}$ | 37.07±0.04$^{c}$ | 19.18±0.42$^{b}$ |
| SM+0.05CA+9% S | 177.74±2.26$^{a}$ | 35.41±0.46$^{a}$ | 9.05±0.35$^{b}$ | 36.82±0.13$^{b}$ | 20.56±0.35$^{c}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษร $^{abcd}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95: Control คือ ไม่มีการเคลือบสารเคลือบบริโภคได้ SM หมายถึง กากถั่วเหลือง CA หมายถึง กรดซิตริก และ S หมายถึง ซอร์บิทอล

บริโภคได้จากแซนแทนกัมสามารถลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดได้ร้อยละ 57 รวมถึงเป็นวิธีที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารทอดให้มีความกรอบมากขึ้น โดยการใช้ซอร์บิทอลส่งผลให้มันฝรั่งทอดมีความกรอบไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่เคลือบเพียงสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก ($p$>0.05) โดยมีค่าแรงที่ทำให้มันฝรั่งแตกและวัดเป็นค่าความกรอบอยู่ในช่วง 175.49–177.74 นิวตัน

3.2.4 ค่าสี

ค่าสีของมันฝรั่งแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ตัวอย่างควบคุม (มันฝรั่งที่ไม่มีการเคลือบด้วยสารบริโภคได้จากกากถั่วเหลือง) โดยมีค่า *L*, a** และ *b** เท่ากับ 54.92±0.92, 3.47±0.46 และ 33.99±0.67 ตามลำดับ ส่วนมันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก มีลักษณะสีเหลืองเข้มขึ้น โดยมีค่า *L*, a** และ *b** เท่ากับ 35.51±0.71, 8.06±0.80 และ 33.51±0.12 ตามลำดับ รวมถึงการใช้ซอร์บิทอลในสารเคลือบบริโภคได้ส่งผลให้มันฝรั่งมีสีเหลืองเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05) (ค่า *L** ลดลงอยู่ในช่วง 35.38±36.79 ในขณะที่ค่า *a** และ *b** เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.08–9.05 และ 34.59–36.82 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่ใช้เอนไซม์ (Non Enzymatic Browning Reaction) เกิดจากน้ำตาลรีดิวส์(Reducing Sugar)กับกรดอะมิโนโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [2] ทั้งนี้ มันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองจะมีกรดอะมิโนจากกากถั่วเหลืองที่นำมาใช้ทำสารเคลือบบริโภคได้ และน้ำตาลรีดิวส์จากซอร์บิทอลที่เติมลงไป โดยซอร์บิทอลมีคาร์บอนอะตอมเท่ากับ 6 สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาดีไฮเดรชันกับหมู่อะมิโนของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองได้ง่าย ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มสูงขึ้น [23] รวมถึงเมื่อนำมันฝรั่งไปทอดในระหว่างกระบวนการทอดจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มันฝรั่งที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้ร่วมกับพลาสติไซเซอร์เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มมากขึ้น สอดคล้องค่า *ΔE* ของตัวอย่าง ซึ่งบอกถึงความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างควบคุม พบว่ามันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกมีค่า *ΔE* เท่ากับ 19.60±1.84 และเมื่อเติมพลาสติไซเซอร์ลงในสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองทำให้สีของมันฝรั่งทอดเปลี่ยนแปลงจากตัวอย่างควบคุมเพิ่มขึ้น ($p$<0.05) โดยมีค่า *ΔE* อยู่ในช่วง 10.03–20.56 แสดงให้เห็นว่าการเติมพลาสติไซเซอร์สามารถเพิ่มปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้สูงขึ้น สีของมันฝรั่งจึงเปลี่ยนแปลงไป

## 4. สรุป

การปรับปรุงคุณสมบัติของสารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองโดยการเติมกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้สารเคลือบบริโภคได้กากถั่วเหลืองสามารถเกาะติดเป็นฟิล์มบางๆ ที่ผิวของมันฝรั่งได้ดีที่สุด โดยมีค่าการเกาะติดเท่ากับร้อยละ 14.54±0.57 และเมื่อนำ

สารเคลือบบริโภคได้จากกากถั่วเหลืองในสภาวะดังกล่าวมาเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการดูดซับน้ำมันโดยการเติมซอร์บิทอลพบว่า มันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้ร่วมกับซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีปริมาณความชื้นที่สูญสียลดลงเท่ากับร้อยละ 56.81±0.76 รวมถึงมีปริมาณน้ำมันทั้งหมดน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 28.15±0.24 นอกจากนี้ลักษณะทางกายภาพ อาทิ ความกรอบและสีของมันฝรั่งทอดที่สภาวะดังกล่าวมีลักษณะแตกต่างจากมันฝรั่งทอดที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้ โดยมันฝรั่งทอดที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้กากถั่วเหลืองมีความกรอบเพิ่มขึ้นและมีสีเหลืองเข้มขึ้น ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นฟิล์มบริโภคได้ในรูปแบบการห่ออาหาร เพื่อลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอดต่อไป

**เอกสารอ้างอิง**

[1] J. M. Krochta and C. De Mulder-jonhnston, “Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities,” *Food Technology,* vol. 51, no. 2, pp. 61–74, 1997.

[2] X. Hua, K. Wang, R. Yang, J. Kang, and H.Yang, “Edible coatings from sunflower head pectin to reduce lipid uptake in fried potato chips,” *LWT - Food Science and Technology, v*ol. 62, no. 2, pp. 1220–1225, 2015.

[3] D. D. G. C. Freitas, S. A. G. Berbari, P. Prati, F. M. Fakhouri, F. P. C. Queiroz, and E. Vicente, “Reducing fat uptake in cassava product during deep-fat frying,” *Journal of Food Engineering*, vol. 94, no. 3, pp. 390–394, 2009.

[4] S. Rimac-Brncic, V. Lelas, D. Rad, and B. Simundic, “Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying,” *Journal of Food Engineering,* vol. 64, no. 2, pp. 237–241, 2003.

[5] M. A. García, C. Ferrero, N. Bertola, M. Martino, and N. Zaritzky, “Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies,* vol. 3, no. 4, pp. 391–397, 2002.

[6] A. Nezzal, L. Aert, M. Verspaille, G. Henderickx, and A. Redl, “Polymorphism of sorbitol,” *Journal of Crystal Growth,* vol. 311, no. 15, pp. 3863–3870, 2005.

[7] B. Li, F. Lu, H. Nan, and Y. Liu, “Isolation and structural characterisation of okara polysaccharides,” *Molecules,* vol. 17, no. 1, pp. 753–761, 2012.

[8] A. D. Garmakhany, N. Aghajani, and M. Kashiri, “Use of hydrocolloids as edible covers to produce low fat french fries,” *Latin American Applied Research,* vol. 41, no. 3, pp. 211–216, 2011.

[9] *Official methods of analysis,* 17th ed., AOAC method no. 925.10 (Air Oven Method) for moisture in flour, Gaithersburg, MD, 2000.

[10] J. Rahimi and M. O. Ngadi, “Effect of batter formulation and pre-drying time on oil distribution fractions in fried batter,” *Food Science and Technology,* vol. 59, no. 2, pp. 820–826, 2014.

[11] W. Ma, S. Rokayya, L. Xu, X. Sui, L. Jiang, and Y. Li, “Physical-chemical properties of edible film made from soybean residue and citric acid,” *Journal of Chemistry,* vol. 2018, pp. 1–8, 2018.

[12] C. Gamonpilas, W. Pongjaruvat, P. Methacanon, and N. Seetapan, “Effects of cross-linked tapioca starches on batter viscosity and oil absorption in deep-fried breaded chicken strips,” *Journal of Food Engineering,* vol. 114, no. 2, pp. 262–268, 2013.

[13] O. Vitrac, G. Trystram, and A. Raoult-Wack, "Deep-fat frying of food: Heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material," *European Journal of Lipid Science and Technology,* vol. 102, no. 8–9, pp. 529–538, 2000.

[14] S. Sahin, G. Sumnu, and B. Altunakar, "Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets," *Journal of the Science of Food and Agriculture,* vol. 85, no. 14, pp. 2375–2379, 2005.

[15] R. Sothornvit and J. M. Krochta, "Plasticizer effect on mechanical properties of β-lacto-globulin films," *Journal of Food Engineering,* vol. 50, no. 3, pp. 149–155, 2001.

[16] T. Bourtoom, "Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan," *Songklanakarin Journal of Science and Technology,* vol. 30, no. 1, pp. 149–165, 2008.

[17] M. Mellema, "Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods," *Trends in Food Science & Technology,* vol. 14, no. 9, pp. 364–373, 2003.

[18] M. Kurek, M. Ščetar, and K. Galić, "Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review," *Food Hydrocolloids,* vol. 71, pp. 225–235, 2017.

[19] R. Sothornvit and J. M. Krochta, " 23 - Plasticizers in edible films and coatings," in *Innovations in Food Packaging.* 1st ed. London, UK: Elsevier, pp. 403–433, 2005.

[20] M. J. Quiroz, M. Urriza, A. Pinotti, and N. Bertola, "Plasticized methylcellulose coating for reducing oil uptake in potato chips," *Journal of the Science of Food and Agriculture,* vol. 92, no. 7, pp. 1346–1353, 2011.

[21] M. K. Krokida, V. Oreopoulou, and Z. B. Maroulis, "Water loss and oil uptake as a function of frying time," *Journal of Food Engineering,* vol. 44, no.1, pp. 39–46, 2000.

[22] R. Y. Ajo, "Application of hydrocolloids as coating films to reduce oil absorption in fried potato chip-based pellets," *Pakistan Journal of Nutrition,* vol. 16, no. 10, pp. 805–812, 2017.

[23] A. E. Newton, A. J. Fairbanka, M. Golding, P. Andrewes, and J. A. Gerrard, "The role of the Maillard reaction in the formation of flavour compounds in dairy products-not only a deleterious reaction but also a rich source of flavour compounds," *Food & Function,* vol. 3, no. 2, pp. 1223–1326, 2002.