

ผลของการลดปริมาณความชื้นก่อนทอดต่อปริมาณความชื้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น  
และการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) ทอดแบบน้ำมันท่วม  
Effect of Pre-Frying Treatments on Moisture Content, Effective Moisture Diffusivity and  
Oil Uptake Content of Deep-Fat Fried Shitake Mushrooms (*Lentinus edodes*)

ธัญญารณ์ ศิริเลิศ\* และ ณัฐธิกา ศิลาลาย

Tunyaporn Sirilert and Nattiga Silalai

### บทคัดย่อ

การร่อนน้ำมันของอาหารเป็นปัญหาสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารทอดแบบน้ำมันท่วม โดยจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของร่างกาย ได้แก่ โรคอ้วน โรคหัวใจ เป็นต้น กรรมวิธีการเตรียมก่อนการทอด (pre-frying treatment) โดยการลดความชื้นบางส่วนก่อนทอด มักนิยมใช้เพื่อลดการร่อนน้ำมันของอาหารระหว่างการทอด จากการศึกษาวิธีการกำจัดน้ำก่อนการทอดในผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอดแบบน้ำมันท่วมทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ (i) อบในตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที (ii) แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และ (iii) อบในตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า วิธีการลดความชื้นด้วยการใช้อบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที ร่วมกับการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จะให้อัตราส่วนความชื้น (moisture ratio) ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณความชื้นและปริมาณการร่อนน้ำมันในผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอดลดลง โดยให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ( $7.07 \pm 1.53$ ) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการร่อนน้ำมันของเห็ดหอมทอดที่กำจัดน้ำก่อนด้วยการใช้วิธีร่วมกันข้างต้น ลดลงเมื่ออุณหภูมิการทอดสูงขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น ( $D_{eff}$ ) มีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นของผลิตภัณฑ์เห็ดหอมที่กำจัดด้วยวิธีอื่นๆ ในทุกๆ อุณหภูมิของการทอด

**คำสำคัญ:** ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ การทอดแบบน้ำมันท่วม เห็ดหอม

### ABSTRACT

Oil absorption of foods is a significant problem found in deep-fat frying products. Fried products affect commonly health status such as obesity, cardiovascular disease, etc. Therefore, pre-frying treatment is often used to decrease partial moisture content in foods prior to frying in order to reduce oil absorption of products during frying. In the present study, pre-frying processes consisted of 3 methods: (i) drying for 30 min with a hot air oven at 130 °C, (ii) freezing for 24 h with a freezer at -18 °C, and (iii) drying for 30 min at 130 °C then freezing for 24 h at -18 °C. The results indicated that water removal with a combination of drying at 130 °C for 30 min and freezing at -18 °C for 24 h prior to deep-fat frying provided a decrease in moisture ratio causing low moisture content and oil uptake content in deep-fat frying mushroom products. The products had high scores of overall acceptability ( $7.07 \pm 1.53$ ). The result indicated that oil uptake content of mushrooms using incorporated methods as mentioned above decreased with increasing temperature. The effective moisture diffusivity ( $D_{eff}$ ) was also higher than that of mushrooms using the other methods at all frying temperatures.

**Keywords:** Diffusion Coefficient, Deep-Fat Frying, Shitake Mushroom

\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

## บทนำ

เห็ดหอมที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lentinus edodes* ซึ่งภาษาจีนเรียกว่า "เหิงคัง" หรือ "เหิงลิ่ง" ส่วนญี่ปุ่นเรียกเห็ดหอมว่า ชิตาเกะ (Shi-ta-ke) เห็ดหอมมีกรดอะมิโนที่ชื่อว่า อิริตาดีนีน (eritadenine) ช่วยให้ไคเลสเตอรอลได้ดียิ่งขึ้น และสามารถลดระดับไคเลสเตอรอลในเลือดลงได้ [1] โดยมีการทดลองนำเห็ดหอมมาสกัดพบว่าในเห็ดหอมให้น้ำตาลโมเลกุลขนาดใหญ่ (mega-sugar) ที่เรียกว่า เบต้ากลูแคนส์ (beta-glucans) ถึง 2 ชนิดได้แก่ เลนตินาน (lentinan) ที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของเซลล์ระบบภูมิคุ้มกัน ให้มีประสิทธิภาพในการต่อสู้ยับยั้ง หรือป้องกันการเติบโตของเซลล์เนื้องอกและมะเร็งต่างๆ ได้ถึงร้อยละ 80.7 และ *Lentinula edodes mycelium* (L.E.M) จะช่วยทำหน้าที่กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันต่อสู้กับการติดเชื้อ และชะลอการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งด้วย [2]

ปัจจุบันอาหารทอด เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) เป็นกรรมวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในอดีต และใช้กันอย่างกว้างขวางในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัญหาที่สำคัญที่พบคือ ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในอาหาร หรือที่เรียกว่า “การอมน้ำมัน” ที่มีอยู่สูงถึงร้อยละ 12-37 โดยน้ำหนัก [3] ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณน้ำมันที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเก็บรักษา ดังนั้นวิธีการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนการทอดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งจากการศึกษาหลักการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดพบว่า ความร้อนจากน้ำมันจะทำให้ น้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอ เกิดช่องว่างทำให้น้ำมันดูดซับเข้าไปแทนที่ ซึ่งการดูดซับน้ำมันส่วนมากเกิดขึ้นในช่วงการเย็นตัวของอาหารภายหลังการทอด เนื่องจากความแตกต่างของความดันบริเวณรูพรุนเล็กๆ ที่ผิวหน้าของอาหารมีอยู่สูง และความแตกต่างของความดันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการนำอาหารขึ้นจากหม้อทอดภายหลังการ

ทอดทำให้อุณหภูมิของอาหารลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำที่อยู่บริเวณรูพรุนที่ผิวหน้าของอาหารเกิดการควบแน่นลดลง บริเวณรูพรุนจึงเกิดเป็นภาวะสุญญากาศ (vacuum effect) เมื่อความดันบรรยากาศภายนอกมีค่าสูงกว่าจึงมีผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ค้างอยู่บริเวณผิวหน้าของอาหารเข้าสู่รูพรุนของอาหารอย่างรวดเร็ว เช่น ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอด [4, 5, 6] นอกจากนี้อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ในการทอดยังส่งผลต่ออัตราการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณน้ำมันที่ดูดซึมเข้าไปในอาหารที่ทอด ณ อุณหภูมิสูง (172-192 องศาเซลเซียส) มีค่าต่ำกว่าอาหารที่ทอด ณ อุณหภูมิต่ำ (155-165 องศาเซลเซียส) อันเนื่องมาจากระยะเวลาและอัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาหาร [7] ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการลดความชื้นในวัตถุดิบด้วยวิธีต่างๆ ก่อนทอดที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น และการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอดแบบน้ำมันท่วม เพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการลดการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์อาหารทอดประเภทอื่นๆ ได้

## วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 1. ศึกษากรรมวิธีการลดปริมาณความชื้นในวัตถุดิบที่เหมาะสม

นำเห็ดหอม Shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) จากบริษัทสยามเห็ดฟาร์ม เชียงใหม่ โดยคัดเลือกดอกเห็ดที่มีขนาดใหญ่ (size L) ที่มีขนาดความยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร เก็บรักษาในกล่องโฟมแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเห็ดหอมที่ใช้ในการทดลองจะใช้ส่วนแนวขนานกับลำต้นตั้งแต่โคนดอกจนถึงปลายก้านดอก และตัดเป็นแผ่นตามแนวขนานให้มีความหนาประมาณ 2.5 มิลลิเมตร แล้วนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้านสีและเนื้อสัมผัสโดยการลวกในร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 นาที และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) เข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก เป็นเวลานาน 5 นาที ก่อน

\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>Asst. Prof. Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok

นำไปกำจัดน้ำด้วยวิธีต่างๆ และมากำจัดน้ำออกก่อนการทอดแบบน้ำมันท่วมด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี ดังนี้

1. นำเห็ดหอมปริมาณ 500 กรัม ต่อ 1 ถาดที่มีขนาด 50x100 เซนติเมตร มาอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที

2. นำเห็ดหอมปริมาณ 500 กรัม บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนขนาด 22x30 เซนติเมตร โดยเกลี่ยให้มีความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร ปิดผนึกและแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

3. นำเห็ดหอมปริมาณเห็ด 500 กรัม เกลี่ยให้ทั่วถาดขนาด 50x100 เซนติเมตร นำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที และนำเห็ดหอมที่อบแห้งแล้ว บรรจุลงในถุงพอลิเอทิลีนขนาด 22x30 เซนติเมตร โดยเกลี่ยให้มีความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร ปิดผนึกและแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

## 2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสและสีของเห็ดหอมทอด

ผลิตภัณฑ์เห็ดหอมแต่ละวิธีการกำจัดน้ำ ผ่านกระบวนการทอดที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสนำมาวัดค่าสีตามวิธีการของ CIE (1986) [8] และค่าเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความสามารถในการเกาะรวมตัวกันได้ (cohesiveness) และความยากง่ายในการเคี้ยว (chewiness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT2 Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey, UK) ดัดแปลงวิธีการวัดค่าของ Garcia และคณะ [9] ทำการวัดตัวอย่างอย่างน้อย 5 ซ้ำต่อหนึ่งสิ่งทดลอง

## 3. ศึกษาอัตราส่วนของความชื้นและปริมาณน้ำมันในเห็ดหอมทอดที่ผ่านการกำจัดน้ำก่อนการทอด

นำตัวอย่างเห็ดหอมประมาณ 150 กรัม ของแต่ละวิธีการกำจัดน้ำก่อนการทอดข้างต้น ทอดลงในน้ำมันปาล์ม ปริมาตร 3,000 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องทอด

Otto รุ่น DFE375 (1,700 W) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้และติดตามอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger รุ่น FX1006E4E2EH/C7 ประเทศญี่ปุ่น) โดยสุ่มตัวอย่างเห็ดหอมที่ผ่านการทอดทุกๆ 10 วินาที เป็นเวลานาน 90 วินาที (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 วินาที) ของแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ทอด คือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส มาซับน้ำมันส่วนเกินบนกระดาษทิชชูเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (% dry basis) และปริมาณไขมันทุกๆ 10 วินาทีระหว่างที่ทอด ด้วยวิธี AOAC (2000) [10] คำนวณอัตราส่วนของความชื้น (Moisture ratio; MR) เมื่อ MR คืออัตราส่วนความชื้น  $M_0$  คือความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ  $M_t$  คือความชื้นของวัสดุที่เวลาใดๆ และ  $M_{eq}$  คือความชื้นสมดุลของวัสดุ

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \quad (1)$$

เมื่อค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น ( $M_{eq} \ll M_0$ ) และความชื้นที่เวลาใดๆ ( $M_{eq} \ll M_t$ ) จึงละค่าความชื้นสมดุลในสมการที่ (1) [11,12, 13, 14] สามารถเขียนสมการที่ (2) คือ

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2)$$

## 4. ศึกษาสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเห็ดหอมในระหว่างการทอด

การศึกษ้อัตราส่วนของความชื้นของเห็ดหอมที่กรรมวิธีการกำจัดน้ำต่างๆ พิจารณาจากความชันของกราฟ (slope) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมธรรมชาติของอัตราส่วนความชื้น ( $\ln MR$ ) กับเวลาในการทอด (t) แล้วถูกนำมาประเมินค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นดังสมการ (3) โดยใช้สมการของ Fick's second law [11] ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (Diffusion coefficient;  $D_{eff}$ ) คือ ค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและความเร็วของกระแสของไหลรอบๆ วัสดุ ซึ่งตัวอย่าง

\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

ที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็นรูปแผ่นบาง (slab) และมีค่า  $L$  คือ ระยะครึ่งหนึ่งของความหนาชิ้นอาหาร (m)

$$D_{eff} = -\frac{slope \cdot 4L^2}{\pi^2} \quad (3)$$

## 5. การประเมินทางประสาทสัมผัสของเห็ดหอมทอด

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบในด้านต่างๆ คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส การอมน้ำมัน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 30 คน ประเมินโดยใช้แบบทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ที่กำหนดเกณฑ์คะแนนคือ 9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

## 6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely Randomized Design (CRD) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Factorial ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยด้วย LSD Multiple Range Test

## ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 1. คุณสมบัติทางกายภาพด้านสีและเนื้อสัมผัสของเห็ดหอมทอด

จากผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของเห็ดหอมทอดโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ของค่าความแข็ง (hardness) และความยากง่ายในการ

เคี้ยว (chewiness) ของเห็ดที่ผ่านการกำจัดน้ำด้วยวิธีการอบแห้งร่วมกับการแช่แข็ง (DF) โดยให้ค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเห็ดหอมทอดที่ผ่านการกำจัดน้ำด้วยกรรมวิธีอื่นๆ (Table 1) เนื่องจากปริมาณน้ำที่ถูกกำจัดออกมาได้มากกว่า โดยผลวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเห็ดหอมสดเริ่มต้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 84.8 เมื่อนำไปผ่านกระบวนการกำจัดน้ำก่อนการทอด พบว่าความชื้นสุดท้ายหลังจากการทอดที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เห็ดหอมที่กำจัดน้ำด้วยวิธี DF มีค่าปริมาณเท่ากับ ร้อยละ 2.1 ในขณะที่วิธีการกำจัดน้ำแบบ F และ D ก่อนการทอดมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่ร้อยละ 4.0 และ 4.9 ตามลำดับ ซึ่งการที่ปริมาณน้ำถูกกำจัดจากเซลล์มากทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงที่ใช้ในการกัดตัวอย่างให้แตกหักเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ชี้ให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียได้เร็วและมากจากผิวอาหารในระหว่างการทอด ส่งผลให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์มากขึ้น [15, 16, 17, 18, 19]

นอกจากนั้นจากผลการทดลอง พบว่ากรรมวิธีการกำจัดน้ำด้วยวิธีต่างๆก่อนการทอด ณ อุณหภูมิในการทอด 160 องศาเซลเซียส จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ของค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอด แต่พบความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของค่าสีแดง ( $a^*$ ) โดยกรรมวิธีการกำจัดน้ำด้วยการอบแห้งร่วมกับการแช่แข็ง (DF) และการกำจัดน้ำด้วยวิธีแช่แข็ง (F) ให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดงสูงกว่าวิธีการกำจัดน้ำแบบอบลมร้อน (D) เพียงเล็กน้อย (Table 1)

**Table 1** Physical properties of deep-fat fried Shitake mushroom

| pre-frying | Texture                  |                         |                         | Color       |                         |            |
|------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|------------|
|            | Hardness                 | Chewiness               | Cohesiveness            | $L^{*ns}$   | $a^*$                   | $b^{*ns}$  |
| D          | 1050 <sup>c</sup> ±1080  | 409.5 <sup>b</sup> ±480 | 0.36 <sup>b</sup> ±0.05 | 26.99 ±0.55 | 1.80 <sup>b</sup> ±0.03 | 4.02 ±0.29 |
| F          | 1570 <sup>b</sup> ±863.2 | 250.6 <sup>c</sup> ±173 | 0.35 <sup>b</sup> ±0.08 | 25.75 ±1.27 | 2.71 <sup>a</sup> ±0.38 | 3.98 ±1.39 |
| DF         | 3979 <sup>a</sup> ±407.8 | 1334 <sup>a</sup> ±524  | 0.49 <sup>a</sup> ±0.01 | 25.76 ±0.24 | 2.79 <sup>a</sup> ±0.12 | 4.22 ±0.35 |

Remark: D= Drying for 30 min with a hot air oven at 130 °C, F= Freezing for 24 h with a freezer at -18 °C

DF= Drying for 30 min at 130 °C then freezing for 24 h at -18 °C

Value with different letters in superscript in column are significantly different ( $p \leq 0.05$ )

\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>Asst. Prof. Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok

ns = not significantly different ( $p > 0.05$ )

Mean  $\pm$  standard deviation (SD)

## 2. ผลของการกำจัดความชื้นก่อนการทอดต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความชื้นและปริมาณน้ำมันของเห็ดหอมทอด

จากการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการกำจัดน้ำที่แตกต่างกันต่ออัตราส่วนของความชื้นของเห็ดหอมทอดแบบน้ำมันท่วม พบว่าค่าลอการิทึมของค่าอัตราส่วนของความชื้นของเห็ดหอมทอดที่อุณหภูมิการทอด (160 องศาเซลเซียส) ลดลงต่อเวลาที่ใช้ทอดและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการทอดในแต่ละอุณหภูมิ โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงนั้นเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (First order kinetic model) ให้สัดส่วนของปริมาณความชื้น (MR) ลดลงตามระยะเวลาการทอดที่เพิ่มขึ้นขณะที่ผลของการกำจัดน้ำบางส่วนก่อนการทอดพบว่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์หลังการทอดลดลง จากปริมาณความชื้นสุดท้ายที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์หลังการทอดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยวิธีการกำจัดน้ำด้วยวิธีอบแห้งร่วมกับแช่แข็ง (DF) ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอบแห้ง (D) และแช่แข็ง (F) สังเกตได้จากการลดลงอย่างรวดเร็วของความชื้นของอัตราส่วนความชื้น (MR) ในเห็ดหอมทอดที่กำจัดน้ำแบบวิธีอบแห้งร่วมกับแช่แข็ง (DF) (Figure 1 left) ทั้งนี้เนื่องจากระบวนการอบแห้งจะทำให้ให้น้ำที่ผิวอาหารและระเหยออกไป ขณะที่กระบวนการแช่แข็งจะช่วยให้น้ำที่เหลืออยู่บนผิวหน้าอาหารกลายเป็นน้ำแข็งและเกิดการระเหิดในระหว่างการทอด และจากการศึกษาปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอดพบว่าที่อุณหภูมิทอด 160 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอดที่ผ่านการกำจัดน้ำด้วยวิธีการ D, F และ DF มีค่าร้อยละ 29.8 27.3 และ 25.4 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณความชื้นมีความสอดคล้องกับน้ำมันที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ภายหลังการทอดซึ่งการใช้ 2 วิธีร่วมกัน (DF) ในการกำจัดน้ำออกก่อนการทอดส่งผลให้ปริมาณน้ำมัน

ที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์หลังการทอดน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ในระหว่างการทอด (Figure 1 right) เนื่องจากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนก่อนการทอดจะทำให้ผิวหน้าอาหารแห้งซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างที่แน่นและแข็ง จึงเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำด้านในออกสู่ผิวหน้า ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนของน้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำได้น้อยลง [20, 21] ส่วนการแช่แข็งจะทำให้ผลึกน้ำแข็งที่ผิวหน้าของอาหารเกิดการระเหิดอย่างรวดเร็วจึงเป็นการช่วยลดปริมาณน้ำมันที่ผิวหน้าอาหาร นอกจากนั้นรูพรุนของอาหารก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำและการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด เมื่อปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องว่างของบริเวณเนื้อเยื่อถูกระเหย ทำให้น้ำมันที่บริเวณผิวอาหารแทรกเข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุนที่เกิดขึ้น [20, 21, 22, 23] ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เห็ดหอมถูกลวกและแช่ในสารละลายเกลือก่อนนำอบแห้งและแช่แข็ง ซึ่งช่วยลดช่องว่างหรือรูพรุนของอาหารได้ เนื่องจากการลวกทำให้เซลล์เนื้อเยื่อผกและผลไม้ถูกทำลายและอ่อนตัวลงทำให้น้ำออกจากเซลล์ได้ [24] และการแช่ในสารละลายเกลือสามารถดึงน้ำออกจากภายในโครงสร้างเซลล์มาสู่ที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นด้วย [25, 26, 27] ดังนั้นการกำจัดน้ำก่อนการทอดจึงช่วยลดความชื้นและปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเห็ดหอมที่ผ่านการกำจัดน้ำร่วมกัน 2 วิธี (DF method) พบว่า ระยะเวลาการทอดเดียวกัน การใช้อุณหภูมิสูงจะช่วยลดปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้โดยปริมาณน้ำมันในเห็ดหอมทอดที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสมีปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิ 170 และ 180 องศาเซลเซียสตามลำดับ (Figure 2 left) และเมื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดต่อปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอดที่เวลา 90 วินาที พบว่าปริมาณน้ำมันของเห็ดหอมมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงขึ้น (Figure 2 right) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [28, 29] ที่ชี้ให้เห็นว่าความร้อนที่สูงขึ้น ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยได้เร็วขึ้น

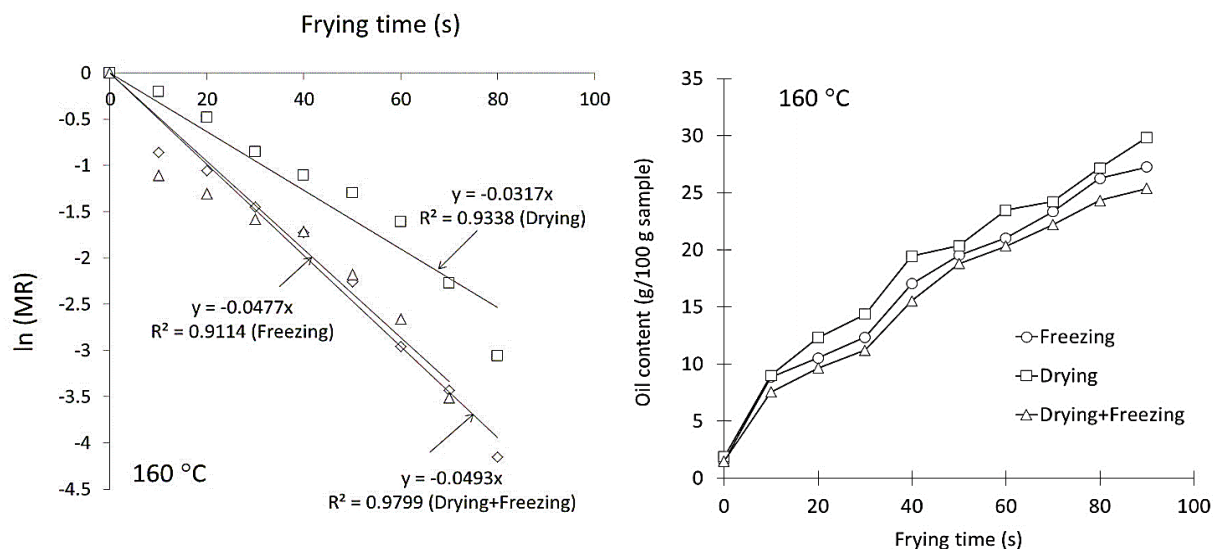
\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

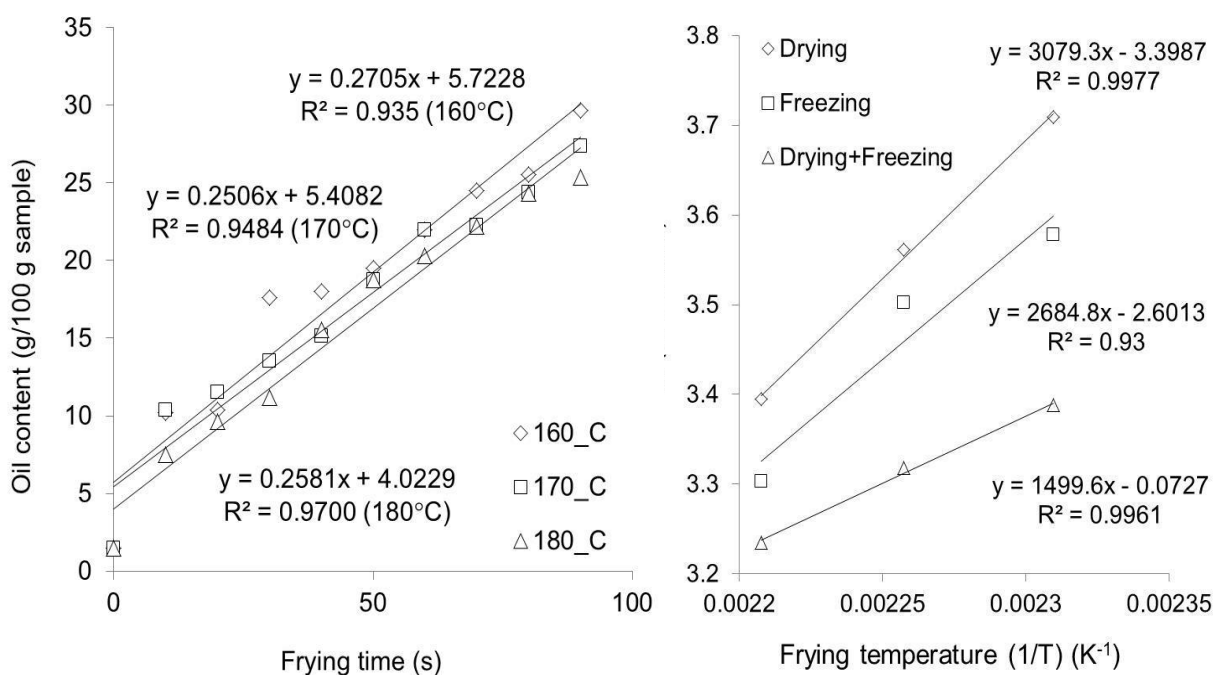
<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

เนื่องจากน้ำอิสระที่บริเวณผิวของอาหารสัมผัสกับน้ำมัน ที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้น้ำอิสระก็จะเริ่มกลายเป็นไอและระเหยไป ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วซึ่ง

ก็จะช่วยลดการแทนที่ของน้ำด้วยน้ำมันในผลิตภัณฑ์ ดังที่อธิบายไปแล้วในข้างต้น [15]



**Figure 1** Relationship of moisture ratio and frying time for deep-fat frying mushrooms at 160 °C (left) and the effect of water removal methods on oil content in mushrooms during deep-fat frying at the same temperature (right)



**Figure 2** Effect of frying temperatures (160, 170 and 180 °C) on oil content in mushrooms during frying with a combination method (DF method) of water removal prior to deep-fat frying (left) and

\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>Asst. Prof. Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University, Bangkok

the effect of water removal methods on oil content in mushrooms frying at different temperatures (right)

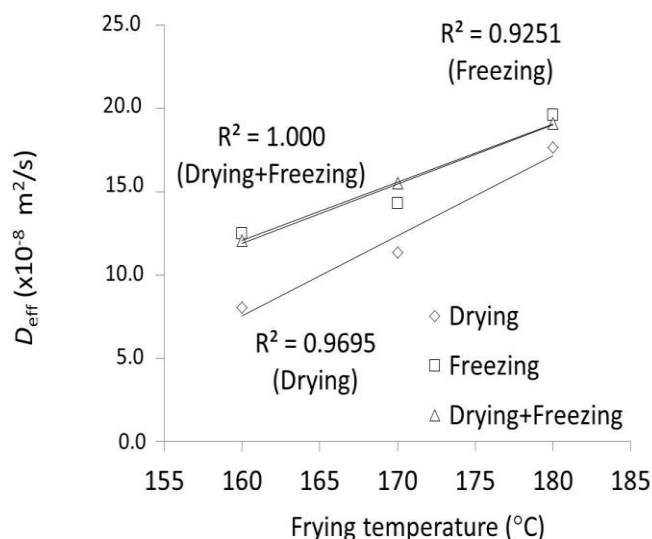
### 3. ศึกษาสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเห็ดหอมในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity;  $D_{eff}$ ) ของผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอด คำนวณได้จากค่าความชันของกราฟอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแต่ละอุณหภูมิในการทอดดังในสมการ (3) ซึ่ง  $L$  มีค่าเท่ากับ 0.0025 เมตร โดยค่า  $D_{eff}$  ของผลิตภัณฑ์เห็ดหอมที่ผ่านการกำจัดน้ำออกก่อนการทอดด้วยวิธีต่างๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น (Figure 3) จากการศึกษาพบว่าค่า  $D_{eff}$  ของผลิตภัณฑ์เห็ดหอมที่ผ่านการกำจัดน้ำออกด้วยวิธีต่างๆ มีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ในการทอดสูงขึ้น ค่า  $D_{eff}$  ของผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอดจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งค่า  $D_{eff}$  เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทอดสูงขึ้นเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยได้มาก การ

แพร่ของน้ำเกิดได้เร็วทำให้การแทนที่ของน้ำด้วยน้ำมันลดลง [20, 21, 30] นอกจากนั้นยังพบว่าผลิตภัณฑ์เห็ดหอมที่ผ่านการกำจัดน้ำออกด้วยวิธีการอบแห้งและแช่เยือกแข็งร่วมกัน (DF method) และแช่แข็ง (F) จะให้ค่า  $D_{eff}$  สูงกว่าในผลิตภัณฑ์เห็ดหอมที่ผ่านการกำจัดน้ำออกด้วยวิธีอบแห้ง (D) ในทุกๆ อุณหภูมิการทอด (Table 2) ซึ่งจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการแช่แข็งส่งผลต่อการแพร่ความชื้นของอาหารทอดแบบน้ำมันท่วมมากกว่าการอบแห้ง เนื่องจากค่า  $D_{eff}$  ของเห็ดหอมทอดที่มีการกำจัดน้ำออกก่อนทอดด้วยวิธีการอบแห้ง ร่วมกับการแช่แข็ง (DF method) มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการกำจัดน้ำด้วยวิธีการแช่แข็งเพียงอย่างเดียว (F) ในขณะที่การกำจัดน้ำออกก่อนทอดด้วยวิธีการอบแห้ง (D) มีค่า  $D_{eff}$  ของเห็ดหอมทอดที่ต่ำสุด ณ อุณหภูมิการทอดที่คงที่ (Figure 3)

Table 2 Effective moisture diffusivity ( $D_{eff}$ ) of deep-fat frying mushrooms at different temperatures

| Method                 | Slope  |        |        | $D_{eff} (x 10^{-8} m^2/s)$ |       |       |
|------------------------|--------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|
|                        | 160°C  | 170°C  | 180°C  | 160°C                       | 170°C | 180°C |
| Drying (D)             | 0.0317 | 0.0449 | 0.0698 | 8.02                        | 11.4  | 17.7  |
| Freezing (F)           | 0.0477 | 0.0525 | 0.0754 | 12.1                        | 14.3  | 19.1  |
| Drying + Freezing (DF) | 0.0493 | 0.0614 | 0.0775 | 12.5                        | 15.5  | 19.6  |



\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

**Figure 3** Relationship of effective moisture diffusivity ( $D_{eff}$ ) of mushrooms and temperature of deep-fat frying mushrooms

#### 4. ผลประเมินทางประสาทสัมผัสของเห็ดหอมทอดที่กรรมวิธีการกำจัดน้ำต่างๆ

จากการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 30 คน ด้วยวิธี 9-point

hedonic scale พบความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในทุกๆ คุณลักษณะ ดังแสดงในตาราง (Table 3)

**Table 3** Sensory evaluation of mushrooms treated with different methods prior to frying at 160 °C

| Pre-frying | Attributes               |                          |                          |                          |                          |                          |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|            | Color                    | Odor                     | Taste                    | Texture                  | Oil uptake               | Overall                  |
| D          | 6.27 <sup>a</sup> ± 1.51 | 6.53 <sup>a</sup> ± 1.64 | 5.60 <sup>b</sup> ± 1.91 | 5.23 <sup>b</sup> ± 1.36 | 5.67 <sup>b</sup> ± 1.58 | 6.20 <sup>b</sup> ± 1.73 |
| F          | 4.00 <sup>b</sup> ± 1.68 | 4.67 <sup>b</sup> ± 2.02 | 4.43 <sup>c</sup> ± 2.14 | 5.47 <sup>b</sup> ± 1.74 | 5.13 <sup>b</sup> ± 2.03 | 5.20 <sup>c</sup> ± 1.71 |
| DF         | 6.50 <sup>a</sup> ± 1.96 | 6.67 <sup>a</sup> ± 1.77 | 6.80 <sup>a</sup> ± 1.88 | 6.93 <sup>a</sup> ± 1.46 | 6.70 <sup>a</sup> ± 1.80 | 7.07 <sup>a</sup> ± 1.53 |

Remark: D= Drying for 30 min with a hot air oven at 130 °C, F= Freezing for 24 h with a freezer at -18 °C,

DF= Drying for 30 min at 130 °C then freezing for 24 h at -18 °C

Value with different letters in superscript in column are significantly different ( $p \leq 0.05$ )

Mean ± standard deviation (SD)

เมื่อพิจารณาความชอบในทุกๆ คุณลักษณะของเห็ดหอมทอด พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเห็ดหอมทอดที่ผ่านการกำจัดน้ำด้วยวิธีการอบแห้งร่วมกับการแช่แข็ง (DF method) ก่อนนำไปทอด โดยให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดเท่ากับ  $7.07 \pm 1.53$  คะแนนมากกว่าเห็ดหอมที่ผ่านการอบแห้ง (D) และการแช่แข็ง (F) เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ผลผลิตเห็ดหอมที่ผ่านการกำจัดน้ำด้วยวิธีการอบแห้งร่วมกับการแช่แข็ง (DF method) ให้คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสและการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์สูงกว่าวิธีอื่นๆ โดยสัมพันธ์กับผลประเมินทางกายภาพรวมถึงปริมาณความชื้นและน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอดด้วย

#### สรุปผลการทดลอง

วิธีการกำจัดน้ำของเห็ดหอมก่อนนำไปทอดและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความชื้น ซึ่งส่งผลต่อปริมาณความชื้นและน้ำมันในผลิตภัณฑ์ และมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น โดยการกำจัดน้ำออก

ด้วยวิธีการอบแห้งร่วมกับการแช่แข็งให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงกว่าการกำจัดน้ำด้วยวิธีอื่น อัตราส่วนของความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณความชื้นและน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอดต่ำสุดซึ่งสัมพันธ์กับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด นอกจากนี้อุณหภูมิการทอดที่สูงขึ้นทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นของผลิตภัณฑ์สัมพันธ์กับการอมน้ำมันที่ลดลง

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Bisen, P.S., Baghel, R.K., Sanodiya, B.S., Thakur, G.S. and Prasad, G.B.K.S. (2010). *Lentinusedodes*: a macrofungus with pharmacological activities. Current Medicinal Chemistry. 17(22): 2419-30.
- [2] Matilla, P., Suonpaa, K. and Piironen, V. (2000). Functional properties of edible mushrooms. Nutrition. 16: 694-696.

\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

- [3] Dana, D., and Saguy, I.S. (2006). Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect: theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*. 128-130: 267-272.
- [4] Lujan-Acosta, J., and Rosana, G.M. (1997). Reduction of oil in tortilla chips using impingement drying. *LWT-Food Science and Technology*. 30: 834-840.
- [5] Moreira, R., Sun, X. and Chen, Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*. 31: 485-498.
- [6] Moyano, P.C. and Predreschi, F. (2006). Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology*. 39: 285-291.
- [7] Garayo, J. and Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*. 55: 181-191.
- [8] CIE Publication No. 15.2. (1986). *Colorimetry*. 2<sup>nd</sup> ed. Central Bureau of CIE, Vienna, available from USNC-CIE Publication office, c/o TLA Lighting Consultants, Inc.
- [9] Garcia, M.A., Ferrero, C., Bertola, N., Martino, M. and Zaritzky, N. (2002). Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. (3): 391-397.
- [10] AOAC. (2000). *Office Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*. The Association of official Analytical Chemist, Inc.
- [11] Crank, J. (1975). *The arithmetics of diffusion*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford University Press, Oxford, UK.
- [12] Bouchon, P. and Pyle, D.L. (2005). Modelling oil absorption during post-frying cooling I: Model development. *Food and Bioproducts Processing*. 83: 253-260.
- [13] Bala, B.K. (1997). *Drying and storage of cereal grains*. New Delhi: Oxford & IBH Publishing.
- [14] Jena, S. and Das, H. (2007). Modelling for vacuum drying characteristics coconut presscake. *Journal of Food Engineering*. 79: 92-99.
- [15] ทวีชัย วงศ์ศักดิ์ไพโรจน์ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ สมบูรณ์ เวชกามา และ สมเกียรติ ปรัชญาวรรกร. (2545). ไอโซเทอมและการเปรียบเทียบเส้นเฉพาะการอบแห้งของหน่อไมในการอบแห้งด้วย ใช้น้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อน. *วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา*. 13(2): 42-49.
- [16] งาม แยมแสงสังข์ และถาวร อริยภุชชัย. (2548). แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผักและผลไม้ที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ. *ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่*. สงขลา.
- [17] Taiwo, K.A. and Baik, O.D. (2007). Effects of pre-treatment on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes. *LWT-Food Science and Technology*. 40: 661-668.
- [18] Kumar, A.J., Singh R.R.B., Patel, A.A. and Patil, G.R. (2006). Kinetics of colour and texture changes in Gulabjamun balls during deep-fat frying. *LWT-Food Science and Technology*. 39: 827-833.

\*tunyapornfood@gmail.com

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร

- [19] Shyu, S.L. and Hwang, L.S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International*. 34: 133-142.
- [20] Saguy, I.S. and Pinthus, E.J. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food Technology*, 45(4): 142-145.
- [21] Saguy, I.S. and Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*. 56: 143-152.
- [22] Adedeji, A.A., Ndsgi, M.O. and Raghavan, G.S.V. (2009). Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat frying chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*. 91: 146-153.
- [23] Pinthus, E.J., Weinberg, P. and Saguy, I.S. (1995). Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*. 60(4): 767-772.
- [24] Ecobar, M.P., Galindo, G.F., Wadso, L., Najera, J.R. and Sjolholm, I. (2007). Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucuscarota L. Nerac*). *Journal of Engineering*. 81: 313-317.
- [25] ดารณี คล้ายเครือ. (2550). การศึกษาวิธีการลดปริมาณน้ำมันดูดซับของผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทอด. การประชุมทางวิชาการระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 1 การนำเสนอผลงานวิจัยเพื่อพัฒนาประเทศ. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [26] วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล. (2556). ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของผักและผลไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 18(1): 226-233.
- [27] Sila, D.N., Duvetter, T., De Roeck, A., Verlent, I., Smout, C., Moates, G.K., Hills, B.P., Waldron, K.K., Hendrickx, M. and van Loey, A. (2008). Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high pressure processing. *Trends in Food Science and Technology*. 19: 309-319.
- [28] Troncoso, E., and Pedreschi, F. (2009). Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT-Food Science and Technology*. 42: 1164-1173.
- [29] Huang, P.H. and Fu, Y. (2014). Modelling the kinetics of water loss during deep-fat frying of potato particulates. *Czech Journal of Food Science* 32(6): 585-594.
- [30] Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E. and Barrufet, M.A. (1999). Deep-fat frying: fundamentals and applications. Aspen Publishers. Gaithersburg. MA. pp. 6, 98, 179, 202.