

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
1.1 วิธีการทอด	2
1.2 รูปแบบการทอด	4
1.3 ขั้นตอนของกระบวนการทอดอาหาร	9
1.4 ระบบการทอด	9
1.5 องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในผักและผลไม้	10
1.6 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของอาหารทอด	15
1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอาหารในกระบวนการทอด	16
1.8 ผลกระทบของความร้อนในการทอด	17
1.9 การดูดซึมน้ำมันของอาหารทอด	22
1.10 การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	25
1.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
1.12 วัตถุประสงค์ของโครงการ	32
1.13 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2. วิธีการวิจัย	33
2.1 วัสดุ	33
2.2 อุปกรณ์	33
2.3 วิธีดำเนินการ	34
2.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดตัวอย่างที่สภาวะสุญญากาศ	34
2.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด	35
2.3.3 ศึกษาผลของเวลาในการทอด	35
2.3.4 ศึกษาผลขององค์ประกอบเริ่มต้นของตัวอย่าง	36
2.3.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	36
2.3.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวอย่างในระหว่างการทอด ภายใต้สภาวะสุญญากาศ วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	38
2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น	39
2.5 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส	40
2.6 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	40
2.7 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของรูพรุน	40
2.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	40
3. ผลและบทวิจารณ์	41
3.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นตัวอย่าง	41
3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นภายในชิ้นตัวอย่างกล้วย อุณหภูมิ และความดันภายในหม้อทอด ระหว่างการทอด	48
3.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นตัวอย่างกล้วยหอมระหว่างการทอด ภายใต้สภาวะสุญญากาศ	49
3.4 ผลขององค์ประกอบเริ่มต้นของตัวอย่างกล้วยหอมต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง	51
3.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของชิ้นตัวอย่างกล้วยหอมระหว่างการทอด ภายใต้สภาวะสุญญากาศ	53

3.6 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	53
3.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส	56
3.8 ขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในชั้นตัวอย่าง	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	70
4.1 บทสรุป	70
4.2 ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	76
ก วิธีการใช้โปรแกรม ImageJ	77
ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส แบบ 7 Point Hedonic Scale	82
ค องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยสด	83
ง การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล	86
จ ใบบรายงานผลการวิเคราะห์	90
ฉ บทความการประชุมทางวิชาการ	101
ประวัติผู้เขียน	125

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอม	10
1.2 ชนิดและปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่พบในอาหารบางชนิด	11
1.3 ค่าร้อยละของปริมาณแป้งและน้ำตาลของผลกล้วยที่มีการสุกในระยะต่างๆ	14
1.4 ปริมาณอะไมโลส และอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน ของสตาร์ชชนิดต่างๆ	18
1.5 ปริมาณวิตามินอีในผลิตภัณฑ์มันฝรั่ง 100 g	21
1.6 Non-linear empirical models	29
3.1 Empirical models แบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง ที่ได้จากการทดลองและค่าคงที่	47
3.2 Empirical models แบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม ที่ได้จากการทดลองและค่าคงที่	47
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Heywood shape factor กับเวลา	48
3.4 สรุปล ปริมาณน้ำตาล ค่าความแข็ง %Thickness Expansion และ % Diameter Shrinkage ของตัวอย่างที่บ่มระยะเวลาต่างๆ	53
3.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทอดที่สภาวะสุญญากาศ	56
3.6 จำนวนรูพรุนในภาพถ่าย SEM และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน ของตัวอย่างต่างๆ	69

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 การถ่ายเทมวลและความร้อน	3
1.2 เครื่องทอดแบบใช้แก๊ส	5
1.3 เครื่องทอดแบบใช้ไฟฟ้า	5
1.4 ระบบทอดในน้ำมันท่วมแบบต่อเนื่อง	6
1.5 เครื่องทอดแบบต่อเนื่องประเภทใช้ระบบการให้ความร้อนโดยตรง	7
1.6 เครื่องทอดแบบต่อเนื่องประเภทใช้ระบบการให้ความร้อนทางอ้อม	7
1.7 เครื่องทอดแบบต่อเนื่องประเภทใช้ระบบการให้ความร้อนจากภายนอก	8
1.8 ระบบลำเลียงในเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง	8
1.9 ระยะเวลาสุกของกล้วย	13
1.10 เปรียบเทียบปริมาณแป้งและน้ำตาลในการสุกของกล้วย	14
1.11 ลักษณะทั่วไปของอาหารที่ทอดแบบน้ำมันท่วม	16
1.12 ระยะเวลาในการเกิดเจลลิตินในเซชันของเมล็ดสตาร์ช	19
1.13 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในแป้งก่อนและหลังการพองตัว	20
1.14 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันกับคุณภาพของอาหาร	20
1.15 การหดตัวและพองตัวของ Tortilla chip ขนาด 1.27 mm ที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 190°C ที่เวลาต่างๆ	31
2.1 ชุดเครื่องทอดสุญญากาศ	33
2.2 เครื่องเหวี่ยงแยก	34
2.3 ขึ้นตัวอย่างกล้วยหอมก่อนการทอด	35
2.4 วิธีการบ่มตัวอย่างกล้วยหอมสด	37
2.5 ระยะเวลาสุกของตัวอย่างกล้วยหอมที่ใช้ในการทดลอง	37
3.1 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของความหนาขึ้นตัวอย่างที่อุณหภูมิการทอด 100°C 110°C และ 120°C	41
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของความหนากับเวลาในการทอดที่อุณหภูมิ 110°C	42

3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเส้นผ่าศูนย์กลางกับเวลาในการทอดที่อุณหภูมิ 110°C	43
3.4	ความสัมพันธ์แบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง ระหว่างอัตราส่วนความหนา(L/L_0) กับอัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก(X/X_0)	44
รายการภาพประกอบ (ต่อ)		
ภาพประกอบ		หน้า
3.5	ความสัมพันธ์แบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ระหว่างอัตราส่วนความหนา(L/L_0) กับอัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก(X/X_0)	44
3.6	ความสัมพันธ์แบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง ระหว่างอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D/D_0) กับอัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก(X/X_0)	45
3.7	ความสัมพันธ์แบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ระหว่างอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D/D_0) กับอัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก(X/X_0)	45
3.8	ความสัมพันธ์แบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง ระหว่างอัตราส่วนปริมาตร (V/V_0) กับอัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก(X/X_0)	46
3.9	ความสัมพันธ์แบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ระหว่างอัตราส่วนปริมาตร (V/V_0) กับอัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก(X/X_0)	46
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Heywood shape factor กับเวลา	48
3.11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในชิ้นตัวอย่างระหว่างการทอดที่อุณหภูมิ 110°C	49
3.12	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันภายในหม้อทอดระหว่างการทอดที่อุณหภูมิ 110°C	49
3.13	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของชิ้นตัวอย่างระหว่างการทอดที่อุณหภูมิ 110°C	50
3.14	เปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 100°C 110°C และ 120°C	50
3.15	ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่บ่มกับค่า Total sugar (%) และ Hardness (N)	51
3.16	ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่บ่มกับค่า %Diameter Shrinkage และ %Thickness Expansion	51
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างวันที่บ่มตัวอย่างกล้วยกับค่าความชื้นภายในชิ้นตัวอย่าง	

	ก่อนทอด และหลังทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	52
3.18	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นตัวอย่างกล้วยหอมระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 110°C	54
3.19	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ที่เวลาต่างๆ ที่ 110°C	54
3.20	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ที่ 100°C 110°C และ 120°C	55
3.21	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตัวอย่างที่บ่มที่เวลาต่างๆ	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า	
3.22	ขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในตัวอย่างกล้วยหอมทอดสุญญากาศที่ 110°C ที่เวลาต่างๆ	57
3.23	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่าง ทอดที่ 110°C ที่เวลาต่างๆ	59
3.24	การกระจายตัวของรูพรุนในตัวอย่างกล้วยหอมทอดสุญญากาศที่ 110°C ที่เวลาต่างๆ	60
3.25	ขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในตัวอย่างกล้วยหอมทอดสุญญากาศที่ 100°C 110°C และ 120°C	62
3.26	การกระจายตัวของรูพรุนตัวอย่างกล้วยหอมทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ	63
3.27	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างกล้วยหอมทอดที่อุณหภูมิต่างๆ	64
3.28	ขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในตัวอย่างกล้วยหอมที่บ่มที่เวลาต่างๆทอดสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 110°C	65
3.29	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างกล้วยหอมที่บ่มที่เวลาต่างๆทอดสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 110°C	66
3.30	การกระจายตัวของรูพรุนตัวอย่างกล้วยหอมที่บ่มที่เวลาต่างๆทอดสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 110°C	67

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

A_p	= the projected area of the sample (mm^2)
d_a	= the equivalent projected area of the sample (mm)
D	= เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง (mm)
D/D_0	= อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง
k	= Heywood shape factor
L	= ความหนาของตัวอย่าง (mm)
L/L_0	= อัตราส่วนความหนาตัวอย่าง
P	= ความดัน (cm Hg)
t	= เวลา (นาที)
T	= อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
V/V_0	= อัตราส่วนปริมาตรตัวอย่าง
V_p	= ปริมาตรของตัวอย่าง (mm^3)
X	= ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)
X/X_0	= อัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก