

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	
2.1 แอปเปิล	5
2.2 ออสโมติกดีไฮเดรชัน	8
2.2.1 สารละลายออสโมติก	9
2.2.2 ข้อดีของการทำแห้งแบบออสโมติก	12
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งแบบออสโมติก	12
2.3 การใช้สนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะ	14
2.4 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาล	17
2.4.1 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์	18
2.4.2 การควบคุมและยับยั้งปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในอาหาร	19
2.4.3 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	21
2.6 การทำแห้ง	25
2.6.1 หลักการทำแห้ง	26
2.6.2 กลไกการทำแห้ง	27
2.6.3 อัตราการทำแห้ง	29
2.6.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้ง	30
2.6.5 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการทำแห้ง	32
2.6.6 การทำแห้งด้วยลมร้อน	33
2.7 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	34
2.7.1 ค่า a_w กับความคงตัวของอาหาร	34
2.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมี	34
2.7.3 ผลของ a_w ต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหาร	39
2.8 ความชื้น	39
2.8.1 การแสดงค่าความชื้นของอาหาร	40
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุประสงค์	41
3.2 สารเคมี	41
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	41
3.4 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลายในการทดลอง	43
3.5 วิธีการทดลอง	43
การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิก	43
และเวลาในการแช่ต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลที่	
ผ่านการเตรียมด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูงกระตุ้นเป็นจังหวะ	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายซูโครส อุณหภูมิ และความเข้มข้นของไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะ ต่อกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกของแอปเปิล	44
การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการทำแห้งแอปเปิลด้วยเครื่องทำแห้งลมร้อนแบบถาด	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกและเวลาในการแช่ต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูงกระตุ้นเป็นจังหวะ	49
4.2 สภาวะที่เหมาะสมต่ออัตราการถ่ายเทมวลของแอปเปิลในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน	57
4.3 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการทำแห้งแอปเปิลด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด	74
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	97
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	100
ภาคผนวก ค รูปภาพ	103
ภาคผนวก ง ตารางสถิติ	109
ประวัติผู้เขียน	121

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของแอปเปิลต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม	7
2.2	อัตราเร็วของปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาหารตามชนิดของน้ำและค่า a_w ที่มีอยู่ในอาหาร	36
3.1	แสดงแผนการทดลองแบบ CCD ชนิด 3 ปัจจัย 17 สิ่งทดลอง	46
4.1	ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (BI) ของแอปเปิลสดและแอปเปิลที่ผ่านเตรียมด้วย PEF เมื่อเวลาผ่านไป	49
4.2	ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลที่ผ่านการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับเทคนิค VI เมื่อเวลาผ่านไป	51
4.3	ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF แล้วแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเปรียบเทียบกับแอปเปิล	53
4.4	แสดงอัตราการถ่ายเทมวลของแอปเปิลในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก ที่ระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิที่ใช้แช่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	56
4.5	แสดงค่าการตอบสนองที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ CCD ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัยมี 17 สิ่งทดลอง	57
4.6	แสดงสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาต่อการทำนายค่าการตอบสนอง	59
ง-1	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิล เมื่อเวลาผ่านไป ที่อุณหภูมิห้อง	110
ง-2	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป ที่อุณหภูมิห้อง	111
ง-3	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป ที่อุณหภูมิห้อง	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ง-4	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป ที่อุณหภูมิห้อง	113
ง-5	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกภายใต้สุญญากาศ และผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป ที่อุณหภูมิห้อง	114
ง-6	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกภายใต้สุญญากาศ และผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป ที่อุณหภูมิห้อง	115
ง-7	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกภายใต้สุญญากาศ และผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป ที่อุณหภูมิห้อง	116
ง-8	การเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สุญญากาศ เมื่อเวลาผ่านไปที่อุณหภูมิห้อง	117
ง-9	การเปลี่ยนแปลงค่าสีของแอปเปิลในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกวางแผนการทดลองแบบ CCD ได้ 17 สิ่งทดลอง	118
ง-10	ลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิลในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกวางแผนการทดลองแบบ CCD ได้ 17 สิ่งทดลอง	119
ง-11	การเปลี่ยนแปลงค่าสีของแอปเปิลทำแห้งที่ ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที	120

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 แสดงการตัดขวางผลแอปเปิลสด พันธุ์ฟูจิ	6
2.2 แสดงลักษณะสรีรวิทยาของผลแอปเปิลสดตัดขวาง	6
2.3 การเปลี่ยนแปลงของเซลล์พืชในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง	9
2.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำ และสารละลายภายในเซลล์ เมื่อแช่ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง	10
2.5 อุปกรณ์การใช้สนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะ	16
2.6 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO	18
2.7 แสดงถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Cryo-SEM	23
2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้งกับเวลาทำแห้ง	28
2.9 อัตราเร็วของปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร และการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผันแปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	35
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w ของอาหารและปริมาณความชื้น (Moisture sorption isotherm) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	37
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและค่า a_w ของชิ้นลูกแพร์ที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	38
2.12 การเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ของแอปเปิลในระหว่างการออสโมซิสด้วยสารละลายกลูโคส (41 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และสารละลายซูโครส (52 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	38
4.1 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มข้นสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลหลังการทำแห้งแบบออสโมติก	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.2 อธิธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มข้น ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของ แอมป์เปิดหลังการทำแห้งแบบออสโมติก	62
4.3 อธิธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มข้น สนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณการสูญเสียของ แอมป์เปิดหลังการทำแห้งแบบออสโมติก	63
4.4 อธิธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้ม สนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ของแอมป์เปิดหลังการทำแห้งแบบออสโมติก	65
4.5 อธิธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มข้น สนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ของแอมป์เปิดหลังการทำแห้งแบบออสโมติก	65
4.6 อธิธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มข้นไฟฟ้าที่ความเข้มข้น สารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อปริมาณของแข็งที่ เพิ่มขึ้นของแอมป์เปิดหลังการทำแห้งแบบออสโมติก	66
4.7 อธิธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้ม สนามไฟฟ้า 0.5กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อความชื้นของแอมป์เปิดหลัง การทำแห้งแบบออสโมติก	68
4.8 อธิธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มข้น สนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อความชื้นของแอมป์เปิดหลัง การทำแห้งแบบออสโมติก	68
4.9 อธิธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มข้นสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้น สารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อความชื้นของแอมป์เปิด หลังการทำแห้งแบบออสโมติก	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.10 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มข้นสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อค่า a_w ของแอปเปิลหลังผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน	70
4.11 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มข้นสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 44.53 องศาเซลเซียส ต่อค่า a_w ของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก	70
4.12 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มข้นสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 63.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อค่า a_w ของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก	71
4.13 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มข้นสนามไฟฟ้า 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อค่าความแข็งของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก	72
4.14 อัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลสดที่อุณหภูมิต่างๆ	74
4.15 อัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลสดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกที่อุณหภูมิต่างๆ	75
4.16 อัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลผ่านการเตรียมขั้นต้นที่อุณหภูมิต่างๆ	76
4.17 อัตราการทำแห้งต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลผ่านการเตรียมขั้นต้นที่อุณหภูมิต่างๆ	77
4.18 อัตราการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นที่อุณหภูมิต่างๆ	78
4.19 ค่า a_w ของแอปเปิลสดก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	79
4.20 ค่า a_w ของแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	80
4.21 ค่า a_w ของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.22	ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	82
ค-1	การทำแห้งแบบออสโมติกของตัวอย่างแอปเปิล โดยการวางแผนการทดลองแบบ CCD ได้ 17 สิ่งทดลอง	104
ค-2	ทำแห้งด้วยลมร้อนตัวอย่างแอปเปิล ที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส	105
ค-3	ทำแห้งด้วยลมร้อนตัวอย่างแอปเปิล ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	105
ค-4	ทำแห้งด้วยลมร้อนตัวอย่างแอปเปิล ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส	106
ค-5	ลักษณะเครื่อง Electro Square Porator (BTX Harvard Apparatus รุ่น ECM 830)	106
ค-6	ลักษณะ Heating circulator water bath และลักษณะการแช่ตัวอย่างแอปเปิลในการทำแห้งแบบออสโมติก	106
ค-7	ลักษณะเครื่องทำแห้งลมร้อนแบบถาด	107
ค-8	ลักษณะเครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture Analyzer: TA.XT.plus, England)	107
ค-9	ลักษณะเครื่องปรับความดันสุญญากาศ	108