

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	4
2.1 มะเดื่อ	4
2.2 ผลไม้แห้ง	6
2.3 การแช่อิ่ม	7
2.4 การอบแห้ง	8
2.4.1 กลไกการอบแห้ง	9
2.4.2 กราฟอัตราการอบแห้ง	10
2.4.3 ปริมาณความชื้นสมดุล	12
2.4.4 Water activity	12
2.4.4.1 ผลของ $a_w$ ต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหาร	16
2.4.4.2 ผลของ $a_w$ ต่อการเน่าเสียของอาหาร	17
2.4.5 การอบแห้งแบบถาด	17
2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งอาหาร	19
2.4.7 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง	20
2.5 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล	21
2.5.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์	21

2.5.1.1 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส	21
2.5.1.2 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส	22
2.5.1.3 การควบคุมและยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วย เอนไซม์ในอาหาร	24
2.5.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์	25
2.5.2.1 คาราเมลไลเซชัน	25
2.5.2.2 ปฏิกิริยามอลลาร์ด	26
2.5.2.2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยา	28
2.5.2.2.2 การควบคุมปฏิกิริยามอลลาร์ด	29
2.6 วัตถุเจือปนในอาหาร	31
2.6.1 กรดซิตริก	32
2.6.2 แคลเซียมคลอไรด์	32
2.7 สารให้ความหวาน	33
2.7.1 น้ำตาล	33
2.7.2 Maltodextrin	34
2.7.3 Sorbitol	36
2.8 บรรจุกัมมันต์	39
2.8.1 หน้าที่ของบรรจุกัมมันต์	39
2.8.2 วัสดุบรรจุกัมมันต์พลาสติก	40
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	44
--------------------------------	----

3.1 วัสดุดิบ	44
3.2 อุปกรณ์	44
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตมะนอดอบแห้ง	44
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ	44
3.2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ	44
3.2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี	44
3.2.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์	45
3.3 สารเคมี	45

3.4	วิธีการทดลอง	46
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์	51
4.1	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีของมะนอดก่อนการแปรรูป	51
4.2	ศึกษาอัตราการอบแห้งมะนอดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด	52
4.3	ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อม	56
4.4	ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีผลต่อการยับยั้งการเปลี่ยนสีของมะนอดอบแห้ง	67
4.5	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะนอดอบแห้งในระหว่าง การเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด	82
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	95
5.1	สรุปผลการทดลอง	95
5.2	ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารอ้างอิง		98
ภาคผนวก		109
	ภาคผนวก ก ผลมะนอดสดและมะนอดอบแห้ง	110
	ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	117
	ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	124
	ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	127
	ภาคผนวก จ การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์	136
	ภาคผนวก ฉ แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	139
	ประวัติผู้เขียน	141

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของมะนอดกลุ่มที่มีเส้นกลางใบสีเหลือง	6
2.2	ความสำคัญของระดับค่าออกซิเจน	14
2.3	ความสามารถของจุลินทรีย์ในการใช้น้ำตาลและซอร์บิทอลเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน	38
4.1	ส่วนประกอบทางเคมีของผลมะนอดสด	51
4.2	ค่า $a_w$ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณความชื้น ในผลมะนอดอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	56
4.3	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดในผลมะนอดอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	57
4.4	กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ในผลมะนอดอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	59
4.5	กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ในผลมะนอดอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	60
4.6	ค่าสี และความแน่นเนื้อในผลมะนอดอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	61
4.7	ผลคะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะนอดอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	64
4.8	ค่า $a_w$ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณความชื้นของมะนอดอบแห้งที่แช่และไม่แช่แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับปริมาณกรดซิตริก	68
4.9	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของมะนอดอบแห้งที่แช่และไม่แช่แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับปริมาณกรดซิตริก	70
4.10	ปริมาณกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ของมะนอดอบแห้งที่แช่และไม่แช่แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับปริมาณกรดซิตริก	72
4.11	ปริมาณกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของมะนอดอบแห้งที่แช่และไม่แช่แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับปริมาณกรดซิตริก	73
4.12	ค่าสี และแรงเฉือนเดสของมะนอดอบแห้งที่แช่และไม่แช่แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับปริมาณกรดซิตริก	76
4.13	ผลคะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะนอดอบแห้งที่แช่และไม่แช่แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับปริมาณกรดซิตริก	79

4.14	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บรักษามะนอด แช่อบแห้ง	83
4.15	ปริมาณความชื้น (%) ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	84
4.16	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Water activity ระหว่างการเก็บรักษามะนอด แช่อบแห้ง	84
4.17	ค่า Water activity ( $a_w$ ) ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	85
4.18	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้ง	86
4.19	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสระหว่าง การเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้ง	87
4.20	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี L ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้ง	89
4.21	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี $a^*$ ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้ง	90
4.22	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี $b^*$ ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้ง	91
4.23	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นกรด-ด่างระหว่างการเก็บรักษามะนอด แช่อบแห้ง	92
ภาคผนวก ข. 1	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือ (%) ระหว่าง การเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	118
ภาคผนวก ข. 2	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลือ (%) ระหว่าง การเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	119
ภาคผนวก ข. 3	ค่าสี L ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	120
ภาคผนวก ข. 4	ค่าสี $a^*$ ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	121
ภาคผนวก ข. 5	ค่าสี $b^*$ ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	122

ภาคผนวก ข. 6 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการเก็บรักษามะนอดแช่ใ้หมบแห้ง  
ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน

123



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## สารบัญภาพ

รูป	หน้า	
2.1	ลักษณะภายในผลของไทรและมะเดื่อ	5
2.2	การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชั้นอาหารระหว่างการอบแห้ง	10
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นในอาหาร	10
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่า $a_w$	15
2.5	กราฟ sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือกับ $a_w$	16
2.6	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่แปรผันตามค่า $a_w$	16
2.7	เครื่องอบแห้ง	18
2.8	ลักษณะการหดตัวระหว่างการอบแห้ง ของชั้นอาหาร	20
2.9	รูปร่างของชั้นอาหารก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง	20
2.10	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส	22
2.11	เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล	23
2.12	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล โดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเร่งปฏิกิริยา	23
2.13	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยามลลาร์ด	27
2.14	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาโดยไม้อาศัยเอนไซม์	31
2.15	สูตร โครงสร้างกรดซิตริก	32
2.16	พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลหรือสารให้ความหวานกับหน่วยรับรส	33
2.17	โครงสร้างน้ำตาล	33
2.18	โครงสร้างซอร์บิทอล	36
4.1	การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในระหว่างการอบแห้งผลมะนอดเป็นเวลา 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	53
4.2	อัตราการอบแห้ง ของมะนอด เป็นเวลา 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	53
4.3	sorption isotherms จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและ $a_w$ ของผลมะนอด	55
4.4	กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของมะนอดแช่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	86



4.5	กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของมะนอดเชื่อมอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	87
4.6	ค่าสี L ของมะนอดเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	89
4.7	ค่าสี a* ของมะนอดเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	90
4.8	ค่าสี b* ของมะนอดเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	91
4.9	ค่าความเป็นกรด-ด่างของมะนอดเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	93
ภาคผนวก ก. 1	ต้นมะนอด	111
ภาคผนวก ก. 2	ผลมะนอดสด	111
ภาคผนวก ก. 3	ขนาดผลมะนอดสด	112
ภาคผนวก ก. 4	การเชื่อมมะนอด	112
ภาคผนวก ก. 5	มะนอดเชื่อมก่อนนำไปอบแห้ง	113
ภาคผนวก ก. 6	มะนอดเชื่อมอบแห้ง	113
ภาคผนวก ก. 7	เครื่องอบแห้งแบบถาด	114
ภาคผนวก ก. 8	มะนอดเชื่อมอบแห้งบรรจุในถุง Aluminum foil สภาวะสุญญากาศ	114
ภาคผนวก ก. 9	มะนอดเชื่อมอบแห้งบรรจุในถุง Aluminum foil บรรยากาศปกติ	115
ภาคผนวก ก. 10	มะนอดเชื่อมอบแห้งบรรจุในถุง Nylon/LLDPE สภาวะสุญญากาศ	115
ภาคผนวก ก. 11	มะนอดเชื่อมอบแห้งบรรจุในถุง Nylon/LLDPE บรรยากาศปกติ	116
ภาคผนวก ค. 1	ค่าสี L, a* และ b*	125