

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ลำไย	5
2.2 ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด	7
2.3 ส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตเยลลี่	9
2.3.1 น้ำตาล	9
2.3.2 ไฮโดรคอลลอยด์	13
2.4 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร	18
2.4.1 การวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้ความรู้สึกมนุษย์	18
2.4.2 การวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องมือ	18
2.5 รีโอโลยี	20
บทที่ 3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง	33
3.1 วัสดุดิบ	33
3.2 อุปกรณ์	33
3.2.1 อุปกรณ์สำหรับผลิตเยลลี่	33
3.2.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพ	33

3.3 สารเคมี	34
3.4 วิธีการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์	40
4.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อลำไยสดพันธุ์ดอ	40
4.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเฮลตี้ลำไย	41
4.3 แบบจำลองที่เหมาะสมและสมบัติทางวัสดุศาสตร์ของเฮลตี้ลำไย	53
4.4 สภาวะการเก็บรักษาและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของเฮลตี้ลำไย	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	93
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รูปภาพประกอบการวิจัย	104
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเฮลตี้ลำไยในระหว่างการเก็บรักษา	106
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	113
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	116
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา	123
ภาคผนวก ฉ การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	126
ภาคผนวก ช แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส	131
ประวัติผู้เขียน	133

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยอบแห้ง	5
2.2	สมบัติและหน้าที่ของกลูโคสไซรัปในลูกกวาด	11
2.3	หน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	14
3.1	ค่าของระดับต่ำและระดับสูงของอัตราส่วนผสม	36
3.2	สิ่งทดลองของ mixture design ที่ผันแปรอัตราส่วนผสม	36
4.1	คุณภาพเคมีของเนื้อลำไยสดพันธุ์ดอ	40
4.2	ค่าสีในระบบ L C H ของเยลลี่ลำไยทั้ง 12 สิ่งทดลอง	43
4.3	ลักษณะทางเนื้อสัมผัส (TPA) ของเยลลี่ลำไย 12 สิ่งทดลอง	44
4.4	สมการรีเกรสชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของเยลลี่ลำไย ต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัส	45
4.5	คุณภาพทางเคมีของเยลลี่ลำไยทั้ง 12 สิ่งทดลอง	47
4.6	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเยลลี่ลำไยทั้ง 12 สิ่งทดลอง	48
4.7	สมการรีเกรสชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของเยลลี่ลำไยต่อ คุณภาพทางเคมี	49
4.8	การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ลำไย 12 สิ่งทดลอง	52
4.9	ค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกสำหรับการทดสอบการเคี้ยว	59
4.10	สมการรีเกรสชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของเยลลี่ลำไยต่อ ตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกสำหรับการทดสอบการเคี้ยว	59
4.11	เวลาการพักความเค้นในแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิสโคอิลาสติก ในเยลลี่ลำไย 12 สิ่งทดลอง	65
4.12	ค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกสำหรับการทดสอบการพักความเค้น	67
4.13	สมการรีเกรสชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของเยลลี่ลำไย ต่อตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกสำหรับการทดสอบการพักความเค้น	68

4.14	ค่า $G'$ $G''$ ที่ความถี่ 1 Hz	70
4.15	สมการรีเกรสชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของเยลลี่ ลำไยต่อตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกสำหรับการทดสอบแบบสั้น	70
ภาคผนวก ข.1	การเปลี่ยนแปลงสีของเยลลี่ลำไยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ ต่างชนิดกันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	107
ภาคผนวก ข.2	การเปลี่ยนแปลงสีของเยลลี่ลำไยที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ ต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	107
ภาคผนวก ข.3	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเยลลี่ลำไยที่เก็บ ในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	108
ภาคผนวก ข.4	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเยลลี่ลำไยที่เก็บ ในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	109
ภาคผนวก ข.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าออเตอร์แอคทีวิตีของเยลลี่ลำไย ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ ต่างชนิดกันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	110
ภาคผนวก ข.6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าออเตอร์แอคทีวิตีของเยลลี่ลำไย ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ ต่างชนิดกันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	110
ภาคผนวก ข.7	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด- ต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเยลลี่ลำไยที่เก็บ ในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	111
ภาคผนวก ข.8	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด- ต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเยลลี่ลำไยที่เก็บ ในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	111
ภาคผนวก ข.9	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของเยลลี่ลำไย ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ ต่างชนิดกันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	112
ภาคผนวก ข.10	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของเยลลี่ลำไย ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	112

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างของแคปปา ไอโอตา และแลมบ์ดาคาร์ราจีแนน	15
2.2	รูปแบบกราฟที่สร้างได้จาก Texture Profile Analysis	19
2.3	พฤติกรรมการคืบของวัสดุวิสโคอิลาสติกเมื่อได้รับแรงคงที่	23
2.4	การเปรียบเทียบระหว่างเส้นกราฟการคืบของวัสดุในอุดมคติและวัสดุวิสโคอิลาสติก	23
2.5	พฤติกรรมการพักความเค้นของวัสดุวิสโคอิลาสติกเมื่อให้ความเครียดคงที่	24
2.6	การเปรียบเทียบระหว่างเส้นกราฟการพักความเค้นของวัสดุในอุดมคติและวัสดุวิสโคอิลาสติก	24
2.7	แบบจำลองของแมกซ์เวลล์	25
2.8	แบบจำลองของไวค-เคลวิน	26
2.9	กราฟการคืบของวัสดุที่มีแบบจำลองที่ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 หน่วย ต่ออนุกรมกับแบบจำลองของไวค-เคลวิน 1 หน่วย	27
2.10	กราฟการพักความเค้นของวัสดุที่มีแบบจำลองที่ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 หน่วย ต่อขนานกับสปริงอิสระ 1 หน่วย	28
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละ) และค่าออสเตอร์แอคทีวิตี้เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง)	42
4.2	ช่วง LVR (linear viscoelastic region) สำหรับการทดสอบการคืบและการพักความเค้น	54
4.3	ช่วง LVR (linear viscoelastic region) สำหรับการทดสอบแบบสั้น	54
4.4	กราฟการคืบของเฮลลี่ดำไย 12 สิ่งทดลอง	56
4.5	กราฟการคืบพร้อมแบบจำลองทางวิสโคอิลาสติกของเฮลลี่ดำไยสิ่งทดลองที่ 12	57

4.6	กราฟการคืบของเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ 2, 4, 6, 7, 8, 9, 11	60
4.7	กราฟการคืบของเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ 1, 3, 5, 10, 12	60
4.8	กราฟการพักความเค้นของเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ 12 สิ่งทดลอง	64
4.9	กราฟการพักความเค้นพร้อมแบบจำลองทางวิสโคพลาสติกของเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ 8 สิ่งทดลอง	66
4.10	ค่า $G'$ ของเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ 12 สิ่งทดลอง	71
4.11	ค่า $G''$ ของเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ 12 สิ่งทดลอง	72
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $L$ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	73
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $L$ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	74
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C$ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	75
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C$ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	75
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $H$ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	76
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $H$ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	76
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า hardness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	78
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า hardness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	78
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า adhesiveness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	79
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า adhesiveness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	79

4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า cohesiveness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	80
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า cohesiveness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	80
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า springiness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	81
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า springiness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	81
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า gumminess และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	82
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า gumminess และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	82
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chewiness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	83
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chewiness และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	83
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	84
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	85
4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอวอเตอร์แอคทีวิตี ( $a_w$ ) และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	85
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอวอเตอร์แอคทีวิตี ( $a_w$ ) และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	86
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	87

4.35	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	87
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	88
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	89
4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	90
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	90
4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	92
4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	92
ภาคผนวก ก.1	ส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตเยลลี่ดำไย	105
ภาคผนวก ก.2	ผลิตภัณฑ์เยลลี่ดำไย	105
ภาคผนวก ก.3	รีโอมิเตอร์	105
ภาคผนวก ฉ.1	การหาค่า $J_0$	127
ภาคผนวก ฉ.2	การหาค่า $\mu$ และค่า $J_1$	127
ภาคผนวก ฉ.3	การหาค่า $\lambda$	128
ภาคผนวก ฉ.4	การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลองและจากสมการแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ	128
ภาคผนวก ฉ.5	การหา $\sigma_0$ $\sigma_1$ $\sigma_2$ $\sigma_3$ และ $\sigma_c$	129
ภาคผนวก ฉ.6	การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลองและจากสมการแบบจำลอง แมกซ์เวลล์ 4 หน่วย ต่อขนาด กับสปริงอิสระ 1 หน่วย	130