

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	105
เอกสารอ้างอิง	107
ภาคผนวก ก	115
ภาคผนวก ข	129
ประวัติผู้เขียน	139

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	สมบัติเบื้องต้นของผลส้มสายน้ำผึ้งที่นำมาทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับ	41
4.2	ค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ผลส้มแตก ค่าเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของระยะยุบตัวที่ผลส้มแตก เมื่อทดสอบการกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้วและด้านข้างของผล	43
4.3	ความเค้น (stress) ความเครียด (Strain) และค่า Young's modulus of elasticity เมื่อทดสอบกดทับผลส้ม ตำแหน่งด้านขั้วผลและด้านข้างผล	43
4.4	สมบัติเบื้องต้นของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งก่อนทดสอบการกดทับ ที่ระยะยุบตัว 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล	46
4.5	ค่าแรงกดทับสูงสุดและระยะทางที่กดทับผลส้ม เมื่อทดสอบกดทับผลส้มที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล	48
4.6	การร่วงไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของผลส้ม เมื่อถูกกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ	51
4.7	อัตราการหายใจของผลส้มหลังจากถูกกดทับ ที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับผลที่ไม่ถูกกดทับ	51
4.8	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์และผลที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์	56
4.9	เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ และผลที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยุบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.10	ระดับคะแนนการติดสีแดงของเปลือกส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 – triphenyl tetrazolium chloride หลังจากผ่านการกดทับที่ระยะยวบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล เทียบกับผลที่ไม่ถูกกดทับ	62
4.11	ระดับคะแนนการเปลี่ยนสีของ indicator paper เมื่อสัมผัสกับเปลือกส้ม หลังจากกดทับที่ระยะยวบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล เทียบกับผลที่ไม่ถูกกดทับ	62
4.12	สมบัติเบื้องต้นของผลส้มเฉลี่ยก่อนการทดสอบกดทับเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง ยาวนาน	67
4.13	ระยะเวลาที่ใช้ในการกดทับผลส้มจนมีระยะยวบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยน้ำหนักกดขนาด 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม	69
4.14	อัตราการยวบตัวของผลส้ม ที่ใช้ในการกดทับผลส้มจนมีระยะยวบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยแรงกดขนาด 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม	70
4.15	การร่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของผลส้มที่ผ่านการกดทับ จนมีระยะยวบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล ด้วยแรงกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ	73
4.16	อัตราการหายใจของผลส้มสายน้ำผึ้งหลังจากกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1400, 2100 และ 2800 กรัม เทียบกับผลที่ไม่ถูกกดทับ	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.17	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จนมีระยะยวบตัวเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์	77
4.18	เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้มหลังจากกดทับด้วยน้ำหนัก 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จนมีระยะยวบตัวเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์	78
4.19	สมบัติเบื้องต้นของผลส้มเฉลี่ยก่อนการทดสอบกดทับรวมกับการจำลองการสั้นสะเทือนระหว่างการขนส่ง	81
4.20	การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลส้ม ที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัมรวมกับการสั้นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที	86
4.21	อัตราการหายใจของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม รวมกับการสั้นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที	87
4.22	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม รวมกับการสั้นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 และ 4 วัน	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.23	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสันสะท้อนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 และ 8 วัน	96
4.24	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสันสะท้อนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 และ 12 วัน	97
4.25	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสันสะท้อนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 14 และ 16 วัน	98
4.26	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสันสะท้อนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 18 และ 20 วัน	99
4.27	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสันสะท้อนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 22 วัน	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.28	การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 และ 12 วัน	101
4.29	การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 14 และ 16 วัน	102
4.30	การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 18 และ 20 วัน	103
4.31	การเน่าเสียของผลส้มหลังจากถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 22 วัน	104

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	ลักษณะโครงสร้างของผลส้ม	4
2.2 A	ใช้กรรไกรตัดยาวตัดผลส้มที่อยู่สูง	7
2.2 B	ตัดผลส้มส่งให้แก่คนงานเพื่อตัดขั้ว	7
2.2 C	ตัดขั้วผลส้มให้สั้นลงโดยใช้กรรไกรตัดสั้น	8
2.3 A และ B	ถุงกระสอบและถุงผ้าสำหรับใส่ผลส้ม	9
2.4 A – C	การเทผลส้มจากถุงลงในตะกร้า	9
2.5	ตะกร้าที่ใช้ใส่ผลส้มหลังเก็บจากต้น	10
2.6 A และ B	รถบรรทุก 6 ล้อ ขนส่งส้ม	11
2.7	รถบรรทุกสำหรับขนย้ายส้ม	12
2.8	การขนย้ายส้มโดยใช้แรงงานคนแบก	12
2.9	การล้างทำความสะอาดผลส้มก่อนการคัดขนาด	13
2.10	การขีดผิวผลส้มด้วยขนแปรง	13
2.11	การเคลือบผิวผลส้มด้วยการฉีดพ่นสารเคลือบผิว	14
2.12	การคัดขนาดผลส้มโดยใช้คนงานและระบบคอมพิวเตอร์	14
2.13	การติดสติ๊กเกอร์บนผลส้ม	15
2.14	การบรรจุผลส้มลงในกล่องกระดาษลูกฟูก	15
3.1	เครื่องทดสอบการกดทับ (texture analyzer)	25
3.2	หัวกดแบบแผ่นเรียบ	25
3.3	เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration tester)	27
3.4	ตัวควบคุมเวลาและไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า	
3.5	ช่องสำหรับใส่ตัวอย่างส้มในการจำลองการสั่นสะเทือน	28
3.6	อุปกรณ์วัดระยะกดทับ (Deformation tester)	32
3.7	ค้อนน้ำหนัก	33
3.8	การทดสอบการกดทับเป็นเวลานานที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์	33
3.9	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผลส้มก่อนนำไปวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์	36
3.10	Gas Chromatograph (SHIMADZU, GC – 8A, Japan)	37
3.11	การเตรียม Indicator paper	39
3.12	Indicator paper ที่เปลี่ยนสีหลังจากสัมผัสผลส้มที่ผ่านการทดลอง	40
4.1	ลักษณะของผลส้มสายน้ำผึ้งหลังจากทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับด้วยหัวกดแผ่นเรียบ	44
4.2	แรงกดทับสูงสุดและระยะทางกดทับของผลส้มสายน้ำผึ้ง เมื่อกดทับด้วยหัวกดแบบแผ่นเรียบบริเวณตำแหน่งด้านซ้าย (A) และด้านข้างผล (B)	45
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของผลส้มและแรงกดทับสูงสุด เมื่อทดสอบกดทับผลส้มสายน้ำผึ้งที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลและผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ	48
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของผลส้มและเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ เมื่อทดสอบการกดทับที่ระยะยุบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลและผลที่ไม่ถูกกดทับ	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยวบตัวของผลส้มกับอัตราการหายใจ หลังจากกดทับที่ระยะยวบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลที่ไม่ถูกกดทับ	52
4.6	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับ ที่ระยะยวบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลที่ไม่ถูกกดทับ (ระยะยวบตัว 0 เปอร์เซ็นต์) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์	58
4.7	เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับที่ระยะยวบตัว 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 68 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12, 14 และ 16 วัน	58
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์และคะแนนการติดสีของเปลือกส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 - triphenyl tetrazolium chloride หลังจากกดทับที่ระยะยวบตัวต่างๆ	60
4.9	การติดสีแดงของเปลือกผลส้มเมื่อย้อมด้วยสารละลาย 2, 3, 5 - triphenyl tetrazolium chloride หลังจากถูกกดทับจนมีระยะยวบตัวต่างๆ	63
4.10	การเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองของ indicator paper เมื่อสัมผัสกับเปลือกผลส้ม หลังจากถูกกดทับที่ระยะยวบตัวต่างๆ	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.11	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการกดทับที่เป็นระยะเวลานาน ด้วยน้ำหนักกดทับ 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จนมีระยะ ยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล และผลส้มที่ไม่ถูกกดทับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($31 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ความชื้นสัมพัทธ์ 83 ± 2 เปอร์เซ็นต์	75
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการยุบตัวของผลส้ม และเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ภายหลังจากกดทับด้วยน้ำหนักขนาดต่างๆ จนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล	80
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการยุบตัวและอัตราการหายใจของผลส้ม หลังจากกดทับจนมีระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผล	80
4.14	การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (เปอร์เซ็นต์) ของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการจำลองการสันสะท้อนระหว่างการขนส่งเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที	85
4.15	อัตราการหายใจของผลส้ม ($\text{mlCO}_2/\text{kg}\cdot\text{hr}$) ที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม ร่วมกับการจำลองการสันสะท้อนระหว่างการขนส่งเป็นเวลา 0, 10, 40 และ 60 นาที	85
4.16	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ที่ไม่ผ่านการสันสะท้อน	91
4.17	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ร่วมกับการสันสะท้อนเป็นเวลา 10 นาที	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.18	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ร่วมกับการสันตะทอนเป็นเวลา 40 นาที	92
4.19	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่ถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 ร่วมกับการสันตะทอนเป็นเวลา 60 นาที	92