

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การลดอุณหภูมิขั้นต้น	3
2.2 วิธีการต่างๆ ในการลดอุณหภูมิขั้นต้น	3
2.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ของการลดอุณหภูมิ	9
2.4 ตัวแปรแสดงประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิ	12
2.5 ผักที่ใช้ในการทดลอง	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย	18
3.3 การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ	22
3.4 Mathematical Modeling	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว	27
4.2 อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนทำการ precooling และ ความเร็วลมภายในห้องเย็น	28

4.3 Cooling Parameters และ Local Heat Transfer Coefficients	28
4.4 การสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการลดอุณหภูมิ	59
4.5 การเขียน โปรแกรมเพื่อประยุกต์ใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ	68
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การคำนวณความร้อนจากการหายใจของผลิตภัณฑ์	76
ภาคผนวก ข. Source Code ของโปรแกรมสำเร็จรูป Forced-air Tunnel Cooling 1.0	80
ภาคผนวก ค. กราฟแสดงการลดอุณหภูมิขั้นต้นของผลิตภัณฑ์ และ กราฟการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน	85
ประวัติผู้เขียน	162

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนการทดลองและความเร็วลมภายในห้องเย็น ในกระบวนการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลีด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling ที่สภาวะต่างๆ	32
4.2 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี forced-air tunnel cooling ของผักกาดขาวปลี ในการทดลองครั้งที่ 1	34
4.3 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี forced-air tunnel cooling ของผักกาดขาวปลี ในการทดลองครั้งที่ 2	36
4.4 ค่า R^2 และ RMSE ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการลดอุณหภูมิจากผักกาดขาวปลี	37
4.5 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี forced-air tunnel cooling ของผักกาดทางหงษ์ ในการทดลองครั้งที่ 1	44
4.6 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี forced-air tunnel cooling ของผักกาดทางหงษ์ ในการทดลองครั้งที่ 2	45
4.7 ค่า R^2 และ RMSE ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการลดอุณหภูมิจากผักกาดทางหงษ์	46
4.8 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี forced-air tunnel cooling ของผักกาดหอมห่อ ในการทดลองครั้งที่ 1	53
4.9 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี forced-air tunnel cooling ของผักกาดหอมห่อ ในการทดลองครั้งที่ 2	54
4.10 ค่า R^2 และ RMSE ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการลดอุณหภูมิจากผักกาดหอมห่อ	55

- 4.11 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์
การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขึ้นต้นด้วยวิธี forced-air
tunnel cooling ของผักกะหล่ำปลี ในการทดลองครั้งที่ 1 62
- 4.12 ค่า cooling parameters local convective heat transfer และ เปอร์เซ็นต์
การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการลดอุณหภูมิขึ้นต้นด้วยวิธี forced-air
tunnel cooling ของผักกะหล่ำปลี ในการทดลองครั้งที่ 2 63
- 4.13 ค่า R^2 และ RMSE ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการลดอุณหภูมิผักกะหล่ำปลี 64

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 การลดอุณหภูมิขึ้นต้น โดยวิธี Room Cooling	4
2.2 การลดอุณหภูมิขึ้นต้น โดยวิธี Forced-Air Cooling	5
2.3 การลดอุณหภูมิขึ้นต้น โดยวิธี Hydrocooling	6
2.4 การลดอุณหภูมิขึ้นต้น โดยวิธี Evaporative Cooling	7
2.5 การลดอุณหภูมิขึ้นต้น โดยวิธี Vacuum Cooling	8
3.1 ขั้นตอนการทดลองศึกษาการลดอุณหภูมิขึ้นต้นของผักที่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอยจังหวัดเชียงใหม่	19
3.2 ห้อง Forced-Air Tunnel Cooling ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง หนองหอยเชียงใหม่	20
3.3 ผ้าใบพลาสติกที่ใช้ในการคลุมตะกร้าในห้อง Forced-Air Tunnel Cooling ขนาด 0.6 * 4.5 เมตร	20
3.4 เครื่อง Squirrel Data Logger 8 channel รุ่น SQ 800 ยี่ห้อ Grant	21
3.5 Thermistor Probes 7 สาย และ Relative Humidity Probe 1 สาย ต่อเข้ากับ Data Logger	21
3.6 ตะกร้าพลาสติก ขนาด 0.35 * 0.55 * 0.20 เมตร ซึ่งมีอัตราส่วน ของช่องเปิดต่อช่องปิดเท่ากับ 2 : 1	22
3.7 การลดอุณหภูมิขึ้นต้น โดยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling	25
3.8 สายวัดอุณหภูมิ (thermistor probes) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแถวใน การลดอุณหภูมิขึ้นต้น โดยใช้วิธี Forced-Air Tunnel Cooling	25
3.9 การลดอุณหภูมิขึ้นต้นด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling โดยใช้ผ้าใบ ขนาดที่ใช้ในปัจจุบัน	26
3.10 การลดขนาดของผ้าใบเป็น 0.6 * 4.5 เมตร ในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิขึ้นต้น ด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling	26
4.1 ขั้นตอนการจัดการหลังเก็บเกี่ยวของผักกาดขาวปลี ผักกาดหางหงษ์ ผักกาดหอมห่อ และผักกะหล่ำปลี ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย	27
4.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของผักกาดขาวปลี ในการทดลองครั้งที่ 1	33
4.3 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของผักกาดขาวปลี ในการทดลองครั้งที่ 2	33

4.4	กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกาดขาวปรี จากหัววัดที่ 3	35
4.5	กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกาดขาวปรี จากหัววัดที่ 5	35
4.6	การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลองของฝักกาดขาวปรี ในการลดอุณหภูมิโดยลดขนาดของผ้าใบจากหัววัดที่ 1 ในการทดลองครั้งที่ 2	38
4.7	การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลองของฝักกาดขาวปรี ในการลดอุณหภูมิโดยลดขนาดของผ้าใบจากหัววัดที่ 2 ในการทดลองครั้งที่ 2	38
4.8	กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของฝักกาดหางหงษ์ ในการทดลองครั้งที่ 1	42
4.9	กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของฝักกาดหางหงษ์ ในการทดลองครั้งที่ 2	42
4.10	กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกาดหางหงษ์ จากหัววัดที่ 3	43
4.11	กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกาดหางหงษ์ จากหัววัดที่ 5	43
4.12	การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลองของฝักกาดหางหงษ์ ในการลดอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบัน จากหัววัดที่ 1 ในการทดลองครั้งที่ 2	47
4.13	การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลองของฝักกาดหางหงษ์ ในการลดอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบัน จากหัววัดที่ 2 ในการทดลองครั้งที่ 2	47
4.14	กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของฝักกาดหอมห่อ ในการทดลองครั้งที่ 1	51
4.15	กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของฝักกาดหอมห่อ ในการทดลองครั้งที่ 2	51
4.16	กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกาดหอมห่อ จากหัววัดที่ 1	52
4.17	กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกาดหอมห่อ จากหัววัดที่ 2	52
4.18	การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลองของฝักกาดหอมห่อ	56

ในการลดอุณหภูมิโดยลดขนาดความกว้างของผ้าใบ จากหัววัดที่ 4 ในการทดลองครั้งที่ 1	
4.19 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature	56
จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลองของฝักกาดหอมห่อ	
ในการลดอุณหภูมิโดยลดขนาดความกว้างของผ้าใบ จากหัววัดที่ 4 ในการทดลองครั้งที่ 2	
4.20 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของฝักกะหล่ำ ในการทดลองครั้งที่ 1	60
4.21 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศของฝักกะหล่ำ ในการทดลองครั้งที่ 2	60
4.22 กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกะหล่ำปติ จากหัววัดที่ 5	61
4.23 กราฟแสดงการลดอุณหภูมิของฝักกะหล่ำปติ จากหัววัดที่ 6	61
4.24 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature	65
จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลอง	
ของฝักกะหล่ำปติ ในการลดอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบัน จากหัววัดที่ 3 ในการทดลองครั้งที่ 1	
4.25 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง dimensionless temperature	65
จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดลอง	
ของฝักกะหล่ำปติ ในการลดอุณหภูมิโดยลดขนาดความกว้างของผ้าใบ	
จากหัววัดที่ 1 ในการทดลองครั้งที่ 2	
4.26 การไหลเวียนของอากาศภายในห้องเย็นในสภาวะปกติ	66
4.27 การไหลของอากาศภายในห้องเย็นในสภาวะที่มีตะกร้าฝักมากกว่าปกติ	67
4.28 แสดงหน้าแรกของโปรแกรมสำเร็จรูป Forced-Air Tunnel Cooling 1.0	68
4.29 แสดงหน้ากรอกข้อมูลของโปรแกรมสำเร็จรูป Forced-Air Tunnel Cooling 1.0	69
4.30 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมสำเร็จรูป Forced-Air Tunnel Cooling 1.0	69