

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	49
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	116
เอกสารอ้างอิง	119
ภาคผนวก ก	123
ภาคผนวก ข	156
ประวัติผู้เขียน	163

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระดับความแก่ของฝักกาดหอมห่อมีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว	8
2.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้กระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อผลิตผลทางการเกษตร	21
2.3 แสดงการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในอุตสาหกรรมเกษตร	45
4.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของฝักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก	59
4.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำของฝักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก	64
4.3 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของฝักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก	68
4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางสรีรวิทยาของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	76
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, chroma และ hue angle ของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	76
4.6 อายุการเก็บรักษาของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	81
4.7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางสรีรวิทยาของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็น	90
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, chroma และ hue angle ของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	90
4.9 อายุการเก็บรักษาของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	95
4.10 ค่า R ² และค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 48 ชุดจากสมการทำนายอุณหภูมิสุดท้ายของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	99

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11 ค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 8 ชุดทดสอบจากสมการ ทำนายอุณหภูมิสุดท้ายของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิ ด้วยระบบสุญญากาศ	100
4.12 ค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 48 ชุดจากสมการ ทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักกาดหอมห่อที่ผ่าน การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	103
4.13 ค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 8 ชุดจากสมการทำนายเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิ ด้วยระบบสุญญากาศ	103
4.14 การเปรียบเทียบค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิสุดท้าย ของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ในแต่ละแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในข้อมูลจำนวน 48 ชุด (training set)	107
4.15 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิสุดท้าย ของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ในข้อมูลจำนวน 8 ชุดทดสอบ (testing set) ของแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียมที่ 3	107
4.16 การเปรียบเทียบค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบ สุญญากาศในแต่ละแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในข้อมูลจำนวน 48 ชุด	110
4.17 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ในข้อมูลจำนวน 8 ชุดทดสอบ ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3	111
4.18 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิสุดท้ายของฝักกาดหอมห่อ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด ระหว่างการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบ โครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	112

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 การเปรียบเทียบค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วย ระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด ระหว่างการทำนายสมการ ด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียม	114
5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อ ด้วยระบบสุญญากาศ	116

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์	14
2.2 ตำแหน่งติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ผนังและทิศทางการไหลของอากาศในห้อง forced-air cooling	16
2.3 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสูญญากาศ	19
2.4 model ของ neuron ในสมองมนุษย์	28
2.5 แผนภูมิแสดงเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิต	29
2.6 เซลล์ประสาทเทียม	30
2.7 Activation functions	31
(a) กราฟ Linear function และ (b) กราฟ Step function	
2.8 Activation functions	32
(c) กราฟ Sigmoid function (d) กราฟ Hyperbolic tangent activation function	
2.9 แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)	34
2.10 แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)	35
2.11 แสดงสถาปัตยกรรมของ Feedforward network	36
2.12 แสดงสถาปัตยกรรมของ Feedback network	36
2.13 แสดงโครงข่ายประสาทเทียม	38
2.14 แสดง single-layer perceptron	42
2.15 แสดงโครงสร้างของ perceptrons	43
3.1 แผนภาพของสีที่แสดงค่าเป็นค่า L^* , Chroma และ Hue angle	50
4.1 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิสูญญากาศที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ	57
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความดันต่อเวลา	60
ในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสูญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก	
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันต่อเวลา	60
ในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสูญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก	
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสูญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก	65
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสูญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของฝักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก	69
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของฝักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก	69
4.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	77
4.9 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	77
4.10 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	78
4.11 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	78
4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	79
4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	79
4.14 ลักษณะปรากฏของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 17 วัน	82
4.15 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของฝักกาดหอมห่อ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	83
4.16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	91
4.17 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	91
4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	92
4.19 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของฝักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	93
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่า ความแน่นเนื้อของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	93
4.22 ลักษณะปรากฏของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 14 วัน	97
4.23 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผักกาดหอมห่อ เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	98
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับ ค่าที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนายโดยวิธีแสดงผลตอบสนอง แบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology) จำนวน 48 ชุด	100
4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้ จากการแทนค่าลงในสมการทำนายโดยวิธีแสดงผลตอบสนอง แบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology) ใน 8 ชุดทดสอบ	101
4.26 กราฟจากสมการทำนายโดยวิธีตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว ต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	101
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการ แทนค่าลงในสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศจำนวน 48 ชุด	104
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จาก การแทนค่าลงในสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของ ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศจำนวน 8 ชุด	104
4.29 กราฟจากสมการทำนายโดยวิธีตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว ต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่าน การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.30 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้าย ของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าพยากรณ์จำนวน 8 ชุดทดสอบ โดยโครงข่ายประสาทเทียมของแบบจำลองที่ 3	108
4.31 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองการพยากรณ์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ของฝักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศระหว่าง ค่าจากการทดลองและ ค่าพยากรณ์จำนวน 8 ชุดทดสอบ โดยโครงข่ายประสาทเทียมของแบบจำลองที่ 3	111
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการ ทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมต่ออุณหภูมิสุดท้ายของฝักกาดหอมห่อ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด	113
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการ ทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียมต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักกาดหอมห่อ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด	114