

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	82
เอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	129
ประวัติผู้เขียน	137

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ข้อดีและข้อเสียของการใช้กระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร	24
2	แสดงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมกับการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ	36
3	สภาวะของบรอกโคลีก่อนและหลังการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ	36
4	ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ	37
5	ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ	37
6	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	40
7	สภาวะของบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าก่อนและหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	40
8	ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	41
9	ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	41
10	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ	44
11	สภาวะของบรอกโคลีบรรจุในถุงพลาสติกก่อนและหลังการลดอุณหภูมิ	44
12	ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ	44
13	ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ	45
14	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า	
15	สถานะของบรอกโคลีที่บรรจุในถุงพลาสติกก่อนและหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	48
16	ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	49
17	ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	49
18	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอกโคลีโดยใช้ระบบสุญญากาศให้มีอุณหภูมิสิ้นสุดเท่ากับ 4 ± 2 องศาเซลเซียส	52
19	อายุการเก็บรักษาของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	61
20	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 8 วัน	63
21	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 8 วัน	64
22	อายุการเก็บรักษาของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	75
23	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 3 วัน	77
24	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 3 วัน	77
25	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอกโคลีด้วยระบบสุญญากาศ	82

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ตำแหน่งติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ผนังและทิศทางการไหลของอากาศในห้อง forced-air cooling	6
2 ลักษณะของ Cooling Curve	10
3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวและอุณหภูมิ	15
4 ส่วนประกอบต่างๆของระบบ Vacuum Cooling	17
5 ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ (cooling time) และอุณหภูมิที่ลดลงของใจกลางบรอกโคลี่	22
6 แผนภาพของสีที่แสดงค่าเป็นค่า L*, Chroma และ Hue angle	27
7 ขั้นตอนการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศ	31
8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่บรรจุตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ	37
9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่บรรจุตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ	38
10 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่บรรจุตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ	38
11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่ที่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	41
12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตั้งกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่ที่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	42
13 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่บรรจุตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	42
14 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่ในในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ	45
15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตั้งกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่ในในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ	46
16 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอกโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
17 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุใน ถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมน้ำ	49
18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุใน ถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมน้ำ	50
19 ความขึ้นสัมพันธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอกโคลีบรรจุในถุงพลาสติก โดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ	50
20 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ตกค้างจากการลดอุณหภูมิบรอกโคลีที่บรรจุในถุงพลาสติก โดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำและการใช้ระบบสุญญากาศ	54
21 ลักษณะของบรอกโคลีบรรจุในตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ร่วมกับน้ำ	54
22 ลักษณะปรากฏของดอกบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 8 วัน	62
23 ลักษณะปรากฏของดอกบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 12 วัน	63
24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	64
25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์บีของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	65
26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	65
27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	66
28 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	66
29 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความขึ้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
30	การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	67
31	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle ของบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์	68
32	ลักษณะปรากฏของดอกบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 3 วัน	76
33	ลักษณะปรากฏของดอกบรอกโคลีที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 6 วัน	76
34	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	78
35	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์บีของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	78
36	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	79
37	การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	79
38	การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	80
39	การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	80
40	การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	81
41	การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle ของบรอกโคลีที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์	81