



การลดอุณหภูมิผักและผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

PRECOOLING TO PROLONG
FRUITS AND VEGETABLES SHELF LIFE

พีชญา พูลาก
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รองศาสตราจารย์ ดร. พิชญา พูลлак

ตำแหน่งปัจจุบัน

รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การศึกษา

- วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พ.ศ. 2532)
- M.S. (Bioresource Engineering) Oregon State University ประเทศสหรัฐอเมริกา (พ.ศ. 2541)
- Ph.D. (Bioresource Engineering) Oregon State University ประเทศสหรัฐอเมริกา (พ.ศ. 2545)

ประวัติการทำงาน

- รองคณบดีฝ่ายวิจัย บริการวิชาการ และวิเทศสัมพันธ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2559-ปัจจุบัน)
- ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัย บริการวิชาการ และวิเทศสัมพันธ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2557-2559)
- หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553-2555)
- พนักงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2554-ปัจจุบัน)
- องค์กรเอกชนด้านการแปรรูปอาหาร 3 องค์กร (2532-2536)

รางวัล (บางส่วน)

- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ดีเด่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2558)
- อาจารย์ดีเด่น คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2557)
- อาจารย์ดีเด่นด้านจริยธรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2557)
- รางวัลที่ 1 ในการนำเสนอผลงานระดับนานาชาติสาขา Postharvest ในหัวข้อเรื่อง “Production of Ethylene Absorber for Extending the Postharvest Life of ‘Gros Michel’ Banana” ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Banana and Plantain in Africa: Harnessing International Partnerships to Increase Research Impact 2008 ณ เมืองมอมบาซา ประเทศเคนยา (2551)
- ได้รับประกาศเกียรติคุณเป็นผู้ทำคุณประโยชน์ด้านอาหารปลอดภัยในการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ GMP เอื้ออาทร จังหวัดเชียงใหม่ ประจำปี (2547)

การลดอุณหภูมิ
ผักและผลไม้
เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

จำอย่าง

พิจญา พูลลาภ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การลดอุณหภูมิผักและผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

บรรณาธิการ: กรกฎ งานวงศ์พาณิชย์

ISBN (e-book): 978-616-398-726-6

ผู้แต่ง: พิชญา พูลลาภ

เจ้าของและผู้จัดพิมพ์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำนักงานบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์: 0 5394 3603-4
โทรสาร: 0 5394 3600
<https://cmupress.cmu.ac.th>, E-mail: cmupress.th@gmail.com

พิมพ์ครั้งที่ 1 : กุมภาพันธ์ 2560

พิมพ์ครั้งที่ 2 : กุมภาพันธ์ 2562

พิมพ์ครั้งที่ 3 : สิงหาคม 2565

ราคา: 300 บาท

คำนำ

หนังสือการลดอุณหภูมิผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ผู้เขียนได้เรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการลดอุณหภูมิผักและผลไม้แบบต่าง ๆ หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาทั้งสิ้น 6 บทซึ่งเกี่ยวข้องกับ ความสำคัญของการลดอุณหภูมิ วิธีการลดอุณหภูมิ การคำนวณเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิ การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ การนำระบบการลดอุณหภูมิที่ใช้ตัวกลาง และแบบสุญญากาศมาใช้กับผักและผลไม้

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกแก่นักศึกษา ผู้ประกอบการ ผู้ผลิต ผู้รวบรวมผักและผลไม้ และผู้ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้สนใจในอุตสาหกรรมผักและผลไม้สด นอกเหนือจากความรู้พื้นฐาน ทฤษฎี และการคำนวณที่เกี่ยวข้องแล้ว ในเนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ผู้เขียนได้สอดแทรกข้อมูลบางส่วนจากงานวิจัยที่ผู้เขียนได้ดำเนินการวิจัยอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับกระบวนการลดอุณหภูมิของผัก เพื่อช่วยอธิบายและเป็นตัวอย่างของการปฏิบัติงานในศูนย์รวบรวมผลิตผล (packing house)

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และครอบครัวสำหรับการสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน นอกเหนือจากนั้นผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณสำหรับข้อเสนอแนะที่มีคุณค่ามากมายจากหลายท่านในการจัดทำหนังสือเล่มนี้ โดยเฉพาะผู้มีรายนามดังนี้ ศาสตราจารย์ ดร. ดนัย บุญเกียรติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดามร บัณฑิตรัตน์ อาจารย์ ดร. สรญา เขียวนาหวางค์ษา อาจารย์ ดร. ปรีศนิย์ กองวงศ์ และคุณอรพรรณ แสงสี รวมถึงกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ จนทำให้หนังสือเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

พิชญา พูลลาภ

สารบัญ

คำนิยม	iii
คำนำ	iv
สารบัญ	v
สารบัญรูป	vii
สารบัญตาราง	ix

บทที่ 1 ความสำคัญของการลดอุณหภูมิ 1

1.1 บทบาทของการลดอุณหภูมิต่อผักและผลไม้	2
1.2 ผลของความล่าช้าในการลดอุณหภูมิ	23
1.3 เกณฑ์ในการตัดสินใจถึงความจำเป็นในการใช้ระบบการลดอุณหภูมิ	24
1.4 เอกสารอ้างอิง	29

บทที่ 2 วิธีการลดอุณหภูมิ 33

2.1 การบรรจุควรทำก่อนหรือหลังการลดอุณหภูมิ	34
2.2 วิธีการลดอุณหภูมิ	35
2.3 อัตราการลดอุณหภูมิ	58
2.4 การเลือกวิธีการลดอุณหภูมิ	59
2.5 วิธีการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผลิตผลบางชนิด	60
2.6 เอกสารอ้างอิง	64

บทที่ 3 การคำนวณในการลดอุณหภูมิ 65

3.1 ภาระของเครื่องทำความเย็น	65
3.2 การคำนวณภาระของเครื่องทำความเย็น	66
3.3 อัตราการลดอุณหภูมิ	74
3.4 พารามิเตอร์แสดงประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิ	77
3.5 เอกสารอ้างอิง	80

บทที่ 4	การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ	81
	4.1 ความสำคัญของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ	81
	4.2 ระบบทำความเย็น	82
	4.3 ห้องเย็น	87
	4.4 อาการสะท้อนหนาว	88
	4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตผลในห้องเย็น	90
	4.6 เอกสารอ้างอิง	100
บทที่ 5	การนำระบบการลดอุณหภูมิที่ใช้ตัวกลางมาใช้กับผักและผลไม้	101
	5.1 การใช้เทคนิคการลดอุณหภูมิแบบต่าง ๆ ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผัก	102
	5.2 การใช้เทคนิคการลดอุณหภูมิแบบต่าง ๆ ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้	110
	5.3 เอกสารอ้างอิง	115
บทที่ 6	การนำระบบการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมาใช้กับผักและผลไม้	119
	6.1 การใช้ระบบการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผัก	120
	6.2 การใช้ระบบการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้	130
	6.3 เอกสารอ้างอิง	132
	ดัชนี	135

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	สารดูดซับเอทิลีน	22
รูปที่ 1.2	ไบโโพรพาที่ปลูกในทวีปยุโรปในรูปแบบของการขายทั้งต้น และไบโโพรพาไทยในรูปแบบที่มีวางจำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ต ของห้างสรรพสินค้าชั้นนำในสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี	27
รูปที่ 2.1	ไดอะแกรมการลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็นหรือการลดอุณหภูมิในห้องเย็น	38
รูปที่ 2.2	การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็นหรือการลดอุณหภูมิในห้องเย็น	38
รูปที่ 2.3	ห้องลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น	39
รูปที่ 2.4	การลดอุณหภูมิในห้องเย็นโดยการติดตั้งท่ออากาศบนเพดาน	40
รูปที่ 2.5	การลดอุณหภูมิในห้องเย็นโดยใช้ช่องผนังกล่องลม	41
รูปที่ 2.6	การลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ	42
รูปที่ 2.7	ไดอะแกรมการลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ	44
รูปที่ 2.8	ไดอะแกรมการลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ โดยการจัดเรียงผลิตผลให้เป็น 2 แถว	44
รูปที่ 2.9	ทิศทางการไหลของอากาศของระบบเซอร์เพนทีน	45
รูปที่ 2.10	ไดอะแกรมกระบวนการการลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ ด้วยผนังเย็น	47
รูปที่ 2.11	ไดอะแกรมกระบวนการการลดอุณหภูมิโดยวิธีการระเหยของน้ำ	48
รูปที่ 2.12	การลดอุณหภูมิโดยการฉีดพ่นน้ำผ่านผลิตผล	51
รูปที่ 2.13	การลดอุณหภูมิโดยบรรจุน้ำแข็งบดละเอียดรวมไปกับผลิตผลในบรรจุภัณฑ์	53
รูปที่ 2.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอิมิตัวกับอุณหภูมิอิมิตัวของน้ำ	55
รูปที่ 2.15	ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ	58
รูปที่ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผลิตผลเริ่มต้น และตัวกลาง กับเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ	78
รูปที่ 4.1	คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบสำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	83
รูปที่ 4.2	คอนเดนเซอร์สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	84
รูปที่ 4.3	วาล์วลดความดันสำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	84
รูปที่ 4.4	อีแวปพอเรเตอร์สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	85
รูปที่ 4.5	แสดงวงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	85

รูปที่ 5.1	การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็นหรือการลดอุณหภูมิในห้องเย็น	102
รูปที่ 5.2	การลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็น	104
รูปที่ 5.3	การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น	106
รูปที่ 5.4	การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง	109
รูปที่ 6.1	เครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ	122
รูปที่ 6.2	การขนย้ายผลิตภัณฑ์เข้าสู่เครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ	122

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	3
ลักษณะอาการสะท้อนหนาวและอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถ เก็บรักษาผักและผลไม้โดยไม่เกิดอาการสะท้อนหนาว	
ตารางที่ 1.2	5
ความร้อนที่ผักและผลไม้ผลิตและปลดปล่อยออกมาที่อุณหภูมิ 20°C	
ตารางที่ 1.3	14
สัมประสิทธิ์การหายใจและการคายน้ำของผักและผลไม้บางชนิด	
ตารางที่ 2.1	62
วิธีการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้	
ตารางที่ 4.1	86
กระบวนการและสถานะของสารทำความเย็นในระบบทำความเย็น	
ตารางที่ 4.2	93
อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม และระยะเวลาในการเก็บรักษา ผักและผลไม้สด	
ตารางที่ 6.1	131
อายุการเก็บรักษาของผลผลิตที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยใช้ระบบสุญญากาศ	

การลดอุณหภูมิผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

กระบวนการลดอุณหภูมิ (precooling) เป็นกระบวนการที่ใช้ดึงความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกออกจากผลผลิตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อุณหภูมิของผลผลิตลดลง และนำไปสู่ความสามารถในการชะลอการเสื่อมสภาพและเสื่อมคุณภาพ ลดอัตราการหายใจ การคายน้ำ และยืดอายุการเก็บรักษาของผลผลิตให้นานยิ่งขึ้น กระบวนการลดอุณหภูมิเป็นกระบวนการที่แตกต่างจากการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำ (refrigerated storage) ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในสายโซ่ความเย็น (cold chain) โดยการลดอุณหภูมิเป็นกระบวนการที่ต้องทำก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอัตราการลดลงของอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิมียุทธศาสตร์ที่เร็วกว่ากรณีนำผักและผลไม้ไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นทั่วไป และในปัจจุบันกระบวนการลดอุณหภูมิก่อนจัดส่งให้แก่ผู้ค้าส่งหรือผู้ค้าปลีกมีความสำคัญและเป็นที่ต้องการมาก ดังนั้นความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการออกแบบกระบวนการลดอุณหภูมิจึงมีความสำคัญยิ่งสำหรับผู้ผลิตและผู้รวบรวมผักและผลไม้

หนังสือเรื่อง การลดอุณหภูมิผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เล่มนี้เป็นหนังสือที่ผู้เขียนได้เรียบเรียงขึ้นจากการค้นคว้าข้อมูลจากตำราและเอกสารจำนวนมาก นอกจากนี้ผู้เขียนยังได้สอดแทรกงานวิจัยของผู้เขียนเข้าไปเพื่อช่วยอธิบายและยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทฤษฎีต่าง ๆ ในทางปฏิบัติ หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาทั้งสิ้น 6 บท ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสำคัญของการลดอุณหภูมิ วิธีการลดอุณหภูมิ การคำนวณเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิ การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ การนำระบบการลดอุณหภูมิที่ใช้ตัวกลาง และแบบสุญญากาศมาใช้กับผักและผลไม้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษา นักวิจัย ผู้ประกอบการ รวมถึงผู้ผลิตที่รวบรวมผักและผลไม้เพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและเพื่อการส่งออก



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

ISBN 978-616-398-726-6



9 786163 987266

01

ความสำคัญ ของการลดอุณหภูมิ (The Importance of Precooling)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ผักและผลไม้สดชะลอการเสื่อมคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว เพราะภายหลังเก็บเกี่ยวผักและผลไม้แล้ว ผลิตภัณฑ์ยังคงมีการหายใจอยู่ ซึ่งแสดงถึงการมีชีวิตหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยใช้สารอาหารที่ผลิตผลสะสมไว้ก่อนการเก็บเกี่ยวมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานสำหรับการดำรงชีวิตต่อไป สำหรับพลังงานที่เกิดในกระบวนการหายใจ นอกจากจะใช้ในการดำรงชีวิตแล้ว อีกส่วนหนึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของความร้อน ซึ่งเรียกว่า vital heat หรือ heat of respiration โดยปริมาณของ vital heat มีค่าแตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ของผลิตผล ระยะความแก่หรือระยะการสุก ความเสียหาย อุณหภูมิของผลิตผล และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเครียดอื่น ๆ นอกจากความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหายใจแล้ว อุณหภูมิของผลิตผลยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความร้อนที่ติดมากับตัวผลิตผลเองในระหว่างการเก็บเกี่ยว ความร้อนสะสมที่ได้รับในแปลงปลูก และจากสิ่งแวดล้อม เรียกว่า ความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก (field heat) โดยที่ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจะมีความร้อนใกล้เคียงกับความร้อนของบรรยากาศรอบ ๆ ในแปลงปลูก และเป็นความร้อนที่ส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของผลิตผล ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้ผักและผลไม้มีอัตราการคายน้ำและการหายใจสูง ส่งผลให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำ ซึ่งจะนำไปสู่การเหี่ยวและมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นเพื่อรักษาคุณภาพของผักและผลไม้สดไว้จึงจำเป็นต้องกำจัดความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกออกไปจากผลิตผลอย่างรวดเร็วที่สุด โดยการลดอุณหภูมิผลิตผลสดก่อนนำไปเก็บรักษาขนส่ง และกระจายสินค้า

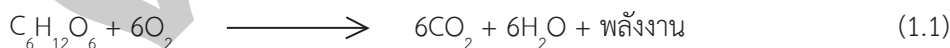
กระบวนการลดอุณหภูมิ (precooling) เป็นกระบวนการที่ดึงเอาความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกออกจากผลิตผลให้เร็วที่สุด ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลของกระบวนการนี้สามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพและการเสื่อมคุณภาพ ช่วยลดอัตราการหายใจและลดการคายน้ำ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลให้นานขึ้น (Poonlarp and Boonyakiat, 2015) การดึงความร้อนออกจากผักและผลไม้ควรทำทันทีภายหลังการเก็บเกี่ยว กระบวนการลดอุณหภูมิเพื่อดึงความร้อนออกจากผลิตผลนั้น อาจใช้คำว่า precooling หรือ cooling โดยกระบวนการลดอุณหภูมิเป็นกระบวนการที่แตกต่างจากการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำ (refrigerated storage) ซึ่งเป็น

ขั้นตอนหนึ่งในสายโซ่ความเย็น (cold chain) โดยการลดอุณหภูมิจัดเป็นกระบวนการที่ต้องทำก่อนการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำ เพราะอัตราการลดลงของอุณหภูมิของกระบวนการลดอุณหภูมิมีความรวดเร็วกว่าการนำผักและผลไม้ไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นทั่วไป ซึ่งโดยปกติแล้วควรลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่จะนำไปเก็บรักษา Thompson *et al.* (2008) ได้รายงานว่าการลดอุณหภูมิผลองุ่นลงให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่จะนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม สามารถช่วยลดการสูญเสีย น้ำของผลองุ่นลง 0.2 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 3 หรือ 4 วัน ของการเก็บรักษา ทั้งนี้อุณหภูมิที่ลดลงก่อนที่จะนำผักและผลไม้ไปเก็บรักษาหรือขนส่งจะต้องไม่เท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายจากความเย็น หรือเรียกว่าเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ดังแสดงในตารางที่ 1.1 โดยอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผักและผลไม้จะขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผลิตผล ดังนั้นจึงไม่ควรลดอุณหภูมิผลิตผลให้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหาย และควรเก็บรักษาผลิตผลให้เท่ากับอุณหภูมิของผลิตผลที่ได้ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ ทั้งนี้เพื่อรักษาคุณภาพทางกายภาพ (physical quality) คุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory quality) และคุณค่าทางโภชนาการ (nutrition value) นอกจากนี้สภาพดังกล่าวยังช่วยชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผล ลดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาให้นานยิ่งขึ้น (Poonlarp *et al.*, 2012)

1.1 บทบาทของการลดอุณหภูมิต่อผักและผลไม้

1.1.1 การลดอัตราการหายใจ

เนื่องจากผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวออกมาจากต้นแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ ดังนั้นกระบวนการหายใจและเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ที่นำไปสู่การแก่ การสุก และการเสื่อมสภาพ รวมไปถึงการเน่าเสียยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เปลี่ยนสารอาหารที่ผลิตผลสะสมไว้ให้เป็นพลังงานสำหรับการดำรงชีพ โดยใช้แก๊สออกซิเจนเข้าไปสลายหรือออกซิโดส์โมเลกุลของสารอาหารเพื่อให้ได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานออกมา ซึ่งสมการที่ (1.1) แสดงการหายใจแบบใช้ออกซิเจนโดยมีน้ำตาลกลูโคส (glucose) เป็นสารตั้งต้น (substrate)



ค่า RQ หรือ respiratory quotient เป็นอัตราส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตผลผลิตออกมาและออกซิเจนที่ถูกใช้ไป เนื่องจากพืชมีสารอาหารสะสมหลายชนิด ซึ่งค่า RQ จะเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ประเภทของสารตั้งต้นที่ผลิตผลใช้ในกระบวนการหายใจ โดยค่า RQ เท่ากับ 1 หมายความว่าผลิตผลนั้น ๆ ใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นสารตั้งต้น ในขณะที่ค่า RQ มากกว่า 1 หมายถึงผลิตผลนั้น ๆ ใช้โปรตีนเป็นสารตั้งต้น และถ้า RQ มีค่าน้อยกว่า 1 หมายถึงไขมันถูกนำมาใช้ในกระบวนการหายใจ

สมการ (1.1) แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการหายใจเมื่อผลิตผลใช้น้ำตาลกลูโคส 1 โมล (mole) และ ออกซิเจน 6 โมล จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 6 โมล (น้ำหนักโมเลกุล 44) และ ความชื้น (H_2O) 6 โมล ร่วมกับพลังงาน ซึ่งพลังงานส่วนหนึ่งถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อน (ตารางที่ 1.2) ที่เรียกว่า vital heat หรือ heat of respiration และอีกส่วนหนึ่งเป็นพลังงานที่ผลิตผล สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ทันที (Rahman, 2007)

ตารางที่ 1.1 ลักษณะอาการสะท้อนหนาวและอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเก็บรักษาผักและผลไม้ โดยไม่เกิดอาการสะท้อนหนาว

ผลิตผล	อุณหภูมิ		ความอ่อนแอ ต่ออาการ สะท้อนหนาว	อาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาผลิตผล ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม
	°C	°F		
กระเจี๊ยบเขียว	7	45	ปานกลาง	การเปลี่ยนแปลงสี ข้ำ และเกิดการเน่า
กล้วย	11.5-13	53-56	สูง	เมื่อสุกแล้วผลมีสีคล้ำขึ้น
เกรพฟรุต์	10	50	ปานกลาง	Scald เกิดการยุบตัวของผิว และการสูญเสียน้ำ
ชิง	7	45	ปานกลาง	เนื้อสัมผัสนุ่ม เนื้อเยื่อถูกทำลาย และเกิดการเน่า
แคนตาลูป	2-5	36-41	ต่ำ	เกิดการยุบตัวของผิว และเกิดการเน่าที่ผิว
แครนเบอร์รี	2	36	ต่ำ	เนื้อผลเละ และมีสีแดงมากขึ้น
เงาะ	10	50	ปานกลาง	เปลือกนอกมีสีเข้มขึ้น
ชาโยเต้	5-10	41-50	ปานกลาง	เกิดสีน้ำตาล และมีสีเขียวคล้ำมากขึ้น
แตงกวา	7	45	ปานกลาง	เกิดการยุบตัวของผิว และเน่าเสีย
แตงโม	4.5	40	ต่ำ	เกิดการยุบตัวของผิว และกลิ่นรสผิดปกติ
ถั่ว (ฝัก)	1-4.5	34-40	ต่ำ	เกิดจุดสีน้ำตาล หรือสีสนิม
ถั่วแขก	7	45	ปานกลาง	เกิดการยุบตัวของผิว และสีน้ำตาลสนิม
ทับทิม	4.5	40	ต่ำ	เกิดการยุบตัวของผิว และเกิดสีน้ำตาลทั้งภายนอกและภายในผล
น้อยหน่า	4	39	ต่ำ	ผิวผลเข้มขึ้น ผลไม่สุก และเนื้อผลมีสีผิดปกติ
ผักบุ้ง	10	50	ปานกลาง	ลำต้นและใบมีสีเข้มขึ้น
เผือก	10	50	ปานกลาง	เนื้อภายในเป็นสีน้ำตาล และเกิดการเน่า
ฝรั่ง	4.5	40	ต่ำ	เนื้อผลเสียหาย และเกิดการเน่า

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gross et al., 2016

ตารางที่ 1.1 ลักษณะอาการสั่ท้านหนาวและอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเก็บรักษาผักและผลไม้โดยไม่เกิดอาการสั่ท้านหนาว (ต่อ)

ผลิตผล	อุณหภูมิ		ความอ่อนแอต่ออาการสั่ท้านหนาว	อาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม
	°C	°F		
พริกหวาน	7	45	ปานกลาง	เกิดการยุบตัวของผิว เกิดการเน่าที่ฝักและขั้วผล เมล็ดเปลี่ยนเป็นสีดำ
ฟักทอง	10	50	ปานกลาง	เกิดการเน่าจากเชื้อรา <i>Alternaria</i>
มะตูม	3	38	ต่ำ	เกิดจุดสีน้ำตาลที่ผิวผล
มะนาว	7-9	45-48	ปานกลาง	ผิวเกิดรอยแผล และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตามระยะเวลา
มะม่วง	11-13	50-55	ปานกลาง	Scald ทำให้สีผิวไม่สม่ำเสมอ และเปลี่ยนเป็นสีเทา
มะเขือม่วง	7	45	ปานกลาง	Surface scald และเมล็ดผลมีสีดำ
มังคุด	4-8	39-47	ต่ำ	แกนกลางผลแข็ง และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
มันฝรั่ง	3	38	ต่ำ	เกิดสีน้ำตาลมะฮอกกานี
มันเทศ	13	55	สูง	เกิดการเน่า การเปลี่ยนสีของเนื้อภายใน และมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นเมื่อนำไปปรุงสุก
มันแกว	13-18	55-65	สูง	เกิดการเน่าที่ผิว และการเปลี่ยนแปลงสี
ลันจี	3	38	ต่ำ	สีผิวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
ส้ม	3	38	ต่ำ	เกิดการยุบตัวของผิว และเกิดรอยสีน้ำตาล
สาเก	7-12	45-53	ปานกลาง	มีการสุกที่ผิดปกติ และสีน้ำตาล
สับปะรด	7-10	45-50	ปานกลาง	มีสีเขียวคล้ำเมื่อสุก และเกิดการเน่าภายในเนื้อผล
เสาวรส	10	50	ปานกลาง	ผิวเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม สูญเสียกลิ่นรส และเกิดอาการเน่า
หน่อไม้ฝรั่ง	0-2	32-36	ต่ำ	ปลายยอดมีสีเขียวคล้ำ และอ่อนยวบลง
อะโวคาโด	4.5-13	40-55	ต่ำ	เนื้อผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลอมเทา
แอปเปิล	2-3	36-38	ต่ำ	การเกิดสีน้ำตาลภายในเนื้อผล และเนื้อผลละ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gross et al., 2016

ตารางที่ 1.2 ความร้อนที่ผักและผลไม้ผลิตและปลดปล่อยออกมาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ชนิดผลิตผล	kJ/kg-hr	ชนิดผลิตผล	kJ/kg-hr
กล้วยหอม (ดิบ)	0.33	ใบออริกาน	1.88
กล้วยหอม (สุก)	2.99	ใบโหระพา	1.78
กระเจี๊ยบ (เขียว)	2.65	ผักกาดขาวปลี	0.42
กระเทียม (ทั้งเปลือก, 10°C)	0.91	ผักกาดหอมห่อ	0.58
กระเทียม (แกะเปลือก)	0.21	ผักกาดหอม (ใบ)	1.08
กะหล่ำดอก	0.84	ผักกาดหอม (หัว)	0.60
กะหล่ำปลี	0.45	ผักกาดฮ่องเต้	0.60
กึ๋น	0.20	ผักโขม	2.46
กุสเบอร์รี่	0.86	ผักชี (5°C)	0.32
แก้วมังกร	1.12	ผักชีฝรั่ง	2.12
จิง (13°C)	0.06	พริกหวาน	0.63
ข้าวโพดฝักอ่อน	4.39	พริกไทย	0.36
ข้าวโพดหวาน	2.79	พลับ	0.23
คื่นช่าย	0.76	พลัม (สุก)	0.21
แคนตาลูป	0.62	มะเขือ (American, 12.5°C)	0.74
แครอท	0.27	มะเขือ (Japanese, 12.5°C)	1.40
เงาะแก่ (25°C)	0.75	มะเขือ (White egg, 12.5°C)	1.21
เซอริ	0.69	มะเขือเทศ (ดิบ)	0.40
แตงกวา	0.33	มะเขือเทศ (สุก)	0.43
แตงโม	0.22	มะนาว (10°C)	0.11
ถั่วงอก (10°C)	1.02	มะม่วง	1.46
ถั่วแขก	2.33	มะละกอ (สุก, 25°C)	0.85
ทุเรียน (22°C)	2.83	มังคุด (25°C)	0.22
ท้อ	0.99	มันฝรั่ง	0.15
น้อยหน่า	3.20	มันเทศ (25°C)	0.71
บรอกโคลี	3.20	ลองกอง (9°C)	0.48
ใบสาระแน (25°C)	2.69	ลิ้นจี่	0.64

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gross *et al.*, 2016

ตารางที่ 1.2 ความร้อนที่ผักและผลไม้ผลิตและปลดปล่อยออกมาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ชนิดผลิตผล	kJ/kg-hr	ชนิดผลิตผล	kJ/kg-hr
ลำไย	0.45	เห็ด (25°C)	2.82
เลมอน	1.17	เหหัว	1.22
สควอช	1.75	โหระพา	2.17
สตอร์วเบอร์รี่	1.60	หัวไชเท้า (หัว)	1.39
สับปะรด	0.26	หัวไชเท้า (Bunched with tops)	0.54
สาลี่ (ยุโรป)	0.68	องุ่น (American)	0.35
เสาวรส	2.80	องุ่น (Muscadine)	0.54
ส้ม (Orange)	0.30	องุ่น (Table)	0.22
ส้มเขียวหวาน	0.27	อะโวคาโด	2.03
หน่อไม้ฝรั่ง	2.60	แอปเปิล (หลังฤดูใบไม้ร่วง)	0.21
หอม (ต้น)	1.17	แอปเปิล (ฤดูร้อน)	0.33
หอมหัวใหญ่ (25°C)	0.09		

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gross *et al.*, 2016

จากสมการ (1.1) จะเห็นได้ว่า ทุก ๆ 6 โมล ของ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการหายใจ ผลิตผลจะปลดปล่อยความร้อนเท่ากับ 673 กิโลแคลอรี (kcal) หรือ 2,815.832 จูล (Joule) (กำหนดให้ 1 แคลอรี (cal) = 4.184 จูล และ 1 BTU = 252 แคลอรี) เมื่อมีการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1 มิลลิกรัมสามารถคำนวณจากสมการ (1.2)

$$Q = \left(\frac{673 \frac{\text{cal}}{\text{mg CO}_2}}{6 \text{ mg mole CO}_2 \times \frac{44 (\text{MW})}{1 \text{ mg mole CO}_2}} \right) \quad (1.2)$$

จากสมการ (1.2) จะได้

$$Q = 2.549 \frac{\text{cal}}{\text{mg CO}_2} \quad (1.3)$$

หรือ

$$Q = 10.665 \frac{\text{J}}{\text{mg CO}_2} \quad (1.4)$$

หรือ

$$Q = 0.01 \frac{\text{BTU}}{\text{mg CO}_2} \quad (1.5)$$

เมื่อ

$\dot{Q}$ = พลังงานความร้อนที่ผลิตผลปล่อยออกมาจากกระบวนการหายใจ (จูล)

อัตราการปลดปล่อยความร้อนในหน่วยบีทียู (BTU) ต่อเมตริกตัน-วัน เมื่อมีอัตราการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ R สามารถคำนวณจากสมการที่ (1.6)

$$\dot{Q} = \left(R \frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(\frac{2.549 \frac{\text{cal}}{\text{mg CO}_2}}{252 \frac{\text{cal}}{\text{BTU}}} \right) \times \left(\frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ metric ton}} \right) \times \left(\frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ day}} \right) \quad (1.6)$$

จะได้

$$\dot{Q} = \left(R \frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(242.76 \frac{\text{BTU} \cdot \text{kg}}{\text{mg CO}_2 \cdot \text{hr}} \right) \quad (1.7)$$

เมื่อ

$\dot{Q}$ = อัตราการปลดปล่อยความร้อนของผลิตผลจากกระบวนการหายใจ
(BTU/metric ton-day)

R = อัตราการหายใจ ($\text{mg CO}_2/\text{kg} \cdot \text{hr}$)

อัตราการปลดปล่อยความร้อนในหน่วย J/kg-hr แสดงในดั่งสมการที่ (1.8)

$$\dot{Q} = \left(R \frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(10.655 \frac{\text{J}}{\text{mg CO}_2} \right) \quad (1.8)$$

หรืออัตราการผลิตความร้อนในหน่วยกิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (kJ/kg-hr) แสดงในดั่งสมการที่ (1.9)

$$\dot{Q} = \left(R \frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(0.011 \frac{\text{kJ}}{\text{mg CO}_2} \right) \quad (1.9)$$

หรืออัตราการผลิตความร้อนในหน่วย BTU (BTU/kg-hr) แสดงในดั่งสมการที่ (1.10)

$$\dot{Q} = \left(R \frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(0.01 \frac{\text{BTU}}{\text{mg CO}_2} \right) \quad (1.10)$$

ตัวอย่างที่ 1.1

คำนวณหาอัตราการปลดปล่อยความร้อนของผักกาดหอมห่อน้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ ที่มีอัตราการหายใจเท่ากับ 56 มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม-ชั่วโมง โดยคำนวณให้อยู่ในรูปของกิโลจูลต่อเมตริกตันต่อวัน

วิธีทำ

- 1) แทนค่าอัตราการหายใจในสมการ (1.6)

$$\dot{Q} = \left(\frac{56 \text{ mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(0.011 \frac{\text{kJ}}{\text{mg CO}_2} \right)$$

$$= 0.616 \text{ kJ/kg-hr}$$

- 2) เปลี่ยนหน่วยจากกิโลกรัมเป็นเมตริกตัน

$$\dot{Q} = \left(\frac{0.616 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(\frac{1,000 \text{ kg}}{1 \text{ metric ton}} \right)$$

$$= 616 \text{ kJ/metric ton-hr}$$

- 3) เปลี่ยนหน่วยจากชั่วโมงเป็นวัน

$$\dot{Q} = \left(\frac{616 \text{ kJ}}{\text{metric ton} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(\frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ day}} \right)$$

$$= 14,784 \text{ kJ/metric ton-day}$$

ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยความร้อนของผักกาดหอมห่อที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 14,784 กิโลจูลต่อเมตริกตันต่อวัน (kJ/metric ton-day)

จากสมการการหายใจแสดงให้เห็นว่า อัตราการหายใจของผลผลิตทำให้เกิดผลสูญเสีย น้ำหนักแห้งในระหว่างการเก็บรักษา โดยน้ำหนักแห้งจะลดลงเมื่อเก็บรักษาสภาพแวดล้อม ที่มีอุณหภูมิสูง สำหรับการหายใจที่ใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นสารตั้งต้นพบว่า เมื่อน้ำตาลถูกใช้ไป 180 กรัม (มวลโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส) พบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจำนวน 264 กรัม (6 โมล $\times$ 44 กรัม: มวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์) ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราการสูญเสียน้ำหนักแห้งได้ดังสมการ (1.11)

$$WL_{DB} = R \frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \times \left(\frac{180 \text{ g}}{264 \text{ g}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right) \quad (1.11)$$

$$= R \frac{\text{mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \times \left(0.682 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{mg}} \right) \quad (1.12)$$

เมื่อ

$$WL_{DB} = \text{อัตราการสูญเสียน้ำหนักแห้ง (g/kg-hr)}$$

ตัวอย่างที่ 1.2

ตัวอย่างผลิตผลและสภาพการเก็บรักษาเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1.1 จงแสดงวิธีการคำนวณน้ำหนักแห้งที่สูญเสียไปในระหว่างการเก็บรักษาผักกาดหอมที่น้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม เป็นเวลา 9 วัน

วิธีทำ

1) แทนค่าอัตราการหายใจในสมการ (1.12) จะได้อัตราการสูญเสียน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งกิโลกรัมของผักกาดหอมคือ

$$WL_{DB} = \left(\frac{56 \text{ mg CO}_2}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times \left(0.682 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{mg}} \right)$$

$$= 0.038 \text{ g/kg-hr}$$

2) คำนวณอัตราการสูญเสียน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมจำนวน 1,000 กิโลกรัม

$$WL_{DB} = \left(\frac{0.038 \text{ g}}{\text{kg} \cdot \text{hr}} \right) \times 1,000 \text{ kg}$$

$$= 38 \text{ กรัมต่อชั่วโมง (g/hr)}$$

3) คำนวณน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่สูญเสียไปในระหว่างการเก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียส

$$WL_{DB} = \left(38 \frac{\text{g}}{\text{hr}} \right) \times 24 \text{ hr} \times 9 \text{ days}$$

$$= 8,208 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นผักกาดหอมห่อน้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน พบว่าสูญเสียน้ำหนักแห้งเท่ากับ 8,208 กรัม หรือ 8.208 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็น 0.82 เปอร์เซ็นต์

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าผักและผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวออกมาจากต้น กระบวนการหายใจยังคงดำเนินต่อไปจนเซลล์และผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพและตายไปในที่สุด ซึ่งการหายใจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพ สรีรวิทยา และชีวเคมี รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัส Nunez-Barrios *et al.* (2005) ได้ทดลองเก็บรักษาบลูเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวโดยกรรมวิธีที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่าบลูเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักรมีอัตราการหายใจสูงกว่าบลูเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวด้วยมือ 31.1 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส บลูเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักรยังมีอัตราการหายใจสูงกว่าบลูเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวด้วยมือ 29.1 เปอร์เซ็นต์ อัตราการหายใจของบลูเบอร์รี่ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำที่เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักรและด้วยมือลดลง 79.3 และ 78.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่ง Abelardo สรุปว่าอัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ กล่าวคือ เมื่อผลิตผลอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหรือผลิตผลมีความเครียดจากความเสียหายทางกลอันเนื่องมาจากการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร จะส่งผลทำให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิและความเครียดนั้น นอกจากนี้ ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วยังพบว่าการสูญเสียอาหารและน้ำจากกระบวนการหายใจและคายน้ำอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารและน้ำที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ รวมถึงอัตราการหายใจและการคายน้ำของผลิตผลชนิดนั้น ๆ ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการหายใจของผลิตผลทุกชนิด โดยอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เรียกว่า maximum temperature อย่างไรก็ตามหากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดสูงสุดจะทำให้อัตราการหายใจลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่การหายใจหยุดลง เรียกจุดของอุณหภูมิที่ทำให้ผักและผลไม้หยุดการหายใจว่า thermal death point

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว (दनัย, 2556) จากกฎของนักเคมีชาวดัตช์ชื่อ Van't Hoff (Van't Hoff rule) ที่กล่าวว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมี (Q_{10} , temperature coefficient หรือ temperature quotient) จะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส หรือ 50 องศาฟาเรนไฮต์ ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง อัตราการหายใจและเมแทบอลิซึมจึงแปรผันตามอุณหภูมิ และเป็นไปตาม Van't Hoff ซึ่งแสดงได้ดังสมการ (1.13)

$$Q_{10} = \left[\frac{R_2}{R_1} \right]^{\frac{10}{t_2 - t_1}} \quad (1.13)$$

เมื่อ

Q_{10} = เป็นสัมประสิทธิ์ที่แสดงผลของการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีซึ่งรวมถึงอัตราการหายใจ