บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ผักกาดหอมห่อ (*Lactuca sativa* L.) เป็นพืชผักที่จัดอยู่ในตระกูลคอมโพซิตี้ (Compositae) เช่นเดียวกับ ทานตะวัน เบญจมาศ และอาติโชก (artichoke) ที่มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ใกล้เคียงกับพันธุ์ป่า (*Lactuca scariola* Torner) ซึ่งเป็นวัชพืช ผักกาดหอมห่อจัดเป็นพืชฤดูเดียว (annual) และต้องการอากาศเย็นในช่วงของการเจริญเติบโต อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 12.8 ถึง 15.6 องศาเซลเซียส และปลูกมากในพื้นที่ฤดูร้อนที่มีอากาศเย็น (cool summer) และฤดูหนาวที่ไม่เย็นจัดจนเกินไป (mild winter) แหล่งปลูกที่สำคัญ เช่น มลรัฐแคลิฟอร์เนีย นิวยอร์ค อะริโซนา และนิวเจอร์ซี่ของสหรัฐอเมริกา แลงคาเชีย (Lancashira) และหุบเขาเทมส์ (Thames) ของอังกฤษ และหุบเขาไรน์ (Rhine) ของเนเธอร์แลนด์ และเยอรมัน เป็นต้น (Ryder, 1979) สำหรับประเทศไทยนิยมปลูกกันในบริเวณที่สูงบนภูเขาตอนเหนือของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และเพชรบูรณ์ เนื่องจากสภาพอากาศบนที่สูงนั้นมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ

คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมห่อ

ผักกาดหอมห่อเป็นผักใบที่อุดมด้วยวิตามินและแร่ธาตุ รวมทั้งเส้นใยและน้ำ คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมห่อยังเกี่ยวข้องกับสีใบและระยะการเจริญเติบโตของผักกาดหอมอีกด้วย โดยที่ใบที่อยู่ด้านนอกที่มีสีเขียวจะมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าใบที่อยู่ด้านใน (Ryder, 1998)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมแต่ละชนิดในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม (Ryder, 1998)

ชนิดของ	แร่ธาตุ					วิตามิน		น้ำ	เส้นใย
ผักกาดหอม	Ca	P	Fe	Na	K	เอ (IU)	ซี (กรัม)	เปอร์เซ็นต์	กรัม
Crisp	22	26	1.5	7	166	470	7	95.5	0.5
Butter	35	35	1.8	7	260	1,065	8	95.1	0.5
Cos	44	25	1.3	9	277	1,925	22	94.9	0.7
Leaf	68	41	1.4	9	264	1,900	18	94.0	0.7

หมายเหตุ : Ca คือ แคลเซียม P คือ ฟอสฟอรัส Fe คือ เหล็ก Na คือ โซเดียม และ K คือโพแทสเซียม

ความหมายของผลิตผลหั่นชิ้น

ผลิตผลหั่นชิ้น หมายถึง ผลิตผลที่ผ่านการปฏิบัติใดๆก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การทำความสะอาด การปอก การตัดแบ่ง การหั่นชิ้น การบรรจุ ฯลฯ โดยที่ผลิตผลยังคงมีชีวิตอยู่ รวมทั้งมีกระบวนการรักษาคุณภาพอื่นๆได้แก่ การใช้ความร้อนในระดับอุณหภูมิไม่สูงมากนัก การใช้รังสี ซึ่งบางครั้งอาจจะรวมถึงกรรมวิธีในการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง การใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการใช้สารละลายคลอรีน ซึ่งแต่ละกรรมวิธีสามารถปฏิบัติร่วมกันหรือแยกกัน เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตผลในระหว่างการเก็บรักษา (จริงแท้, 2538 ; Wiley, 1994)

รูปแบบของผลิตผลหั่นชิ้นส่วนใหญ่ที่พบได้แก่ ผักกาดหอมห่อ แครอท เซลารี่ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลีหั่นชิ้น การปอกเปลือกและการหั่นชิ้นของมันฝรั่ง การล้างและการตัดแต่งของผักโขม การกำจัดใส้แกนกลางและการหั่นชิ้นของสับปะรด การบรรจุเป็นสลัดผักรวม การแช่เย็นของมะม่วง แตงโม และผลไม้อื่นๆที่หั่นชิ้น (Cantwell, 2002)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลหั่นชิ้น

กระบวนการของผลิตผลิตผลหั่นชิ้นจะทำให้เกิดบาดแผลในขั้นตอนของการเตรียมผลิตผล ได้แก่ การปอกเปลือก การหั่น การสับหรือการฉีก ซึ่งจะแตกต่างกันตามกระบวนการจัดการ ดังนั้นจึงทำให้เนื้อเยื่อของผลิตผลหั่นชิ้นเกิดความเครียด ซึ่งมีผลกระตุ้นกระบวนการหายใจ และการสร้างเอทธิลีนให้เพิ่มขึ้น รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส การเกิดสีน้ำตาล ตลอดจนการเข้าทำลายจุลินทรีย์ เป็นต้น

1. การสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้น

การสังเคราะห์เอทธิลีนสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกระยะการเจริญเติบโตของผลิตผล ซึ่งได้แก่ ระยะการงอกของเมล็ดพืช การสุกของผลไม้ การเสื่อมสภาพ และการร่วงของดอกและใบของผลิตผล นอกจากนี้ยังเกิดจากการได้รับสภาพความเครียดต่างๆ เช่น สภาพอุณหภูมิต่ำ การร่วงหล่น และการเกิดบาดแผล (Yang, 1985) ซึ่งการเกิดบาดแผลของเนื้อเยื่อพืชสามารถกระตุ้นการสร้างเอทธิลีนอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลาเพียง 1 ชั่วโมงและถึงระดับสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 6-12 ชั่วโมง (Abeles *et al.*, 1995) ก๊าซเอทธิลีนที่เกิดขึ้นจากการเกิดบาดแผลสามารถกระตุ้นการเสื่อมสภาพ การชราภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยามากมาย โดยเอทธิลีนสามารถกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และทำให้ผลิตผลหลายชนิดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างรวดเร็วโดยที่ไม่มีการสร้างสารสี เช่น ในผลส้ม ในผักบริโภคใบ ในผลอ่อนที่ใช้บริโภคเป็นผัก รวมทั้งในใบของไม้ประดับบางชนิด ผักหลายชนิดที่มีลักษณะเป็นยอดหรือช่อเมื่อสัมผัสกับเอทธิลีนจะทำให้ใบ ดอก และขั้วหลุดออกได้ง่าย เนื่องจากเอทธิลีนกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในบริเวณ abscission zone เช่น ผักกาดขาวปลี กะหล่ำดอก บรอคโคลี มะเขือเทศ และดอกไม้หลายชนิด ส่วนทางด้านเนื้อสัมผัส พบว่า เอทธิลีนสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ pectinase และเอนไซม์ cellulase ในผลแตงโม ซึ่งทำให้เนื้อของแตงโมมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในระหว่างการเก็บรักษา เอทธิลีนยังมีผลทำให้เนื้อของมันเทศมีความอ่อนนุ่มมากเกินไป ภายหลังการปรุงให้สุก รวมทั้งมีลักษณะของสีและรสชาติที่ผิดปกติไป ในหน่อไม้ฝรั่งมีเส้นใยหรือเสี้ยนมากขึ้น เนื่องจากเอทธิลีนกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ peroxidase ทำให้มีการสร้างลิกนินมากขึ้น ทางด้านรสชาติ พบว่า เอทธิลีนทำให้ผลไม้มีการเปลี่ยนสตาร์ชเป็นน้ำตาลและมีปริมาณกรดลดลง ทำให้รสชาติของผลไม้ดีขึ้น แต่ในแครอทและกะหล่ำปลี พบว่า เอทธิลีนมีผลต่อการกระตุ้นให้มีการสร้าง

สารประกอบฟีนอลที่ทำให้เกิดรสขม เอทธิลีนยังสามารถทำลายการพักตัวของหัวมันฝรั่ง ทำให้เกิดการงอกเร็วขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ยอดที่งอกมาใหม่นั้นมีการยืดตัวที่น้อยกว่าปกติ ในดอกคาร์เนชั่นเกิดอาการกลีบดอกม้วนงอตัวเข้าด้านใน เหี่ยว สีซีดลง หลุดร่วง และไม่บาน ซึ่งเรียกอาการนี้ว่า sleepiness (จริงแท้, 2538)

สำหรับผลของเอทธิลีนต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อ พบว่า ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพที่มีเอทธิลีนความเข้มข้นเพียง 0.1 ส่วนต่อล้านส่วน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถกระตุ้นการเกิดอาการจุดสีน้ำตาลแดง (russet spotting) บริเวณเส้นกลางใบของผักกาดหอมห่อได้ ซึ่งเกิดจากเอทธิลีนมีผลต่อการกระตุ้นกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PAL ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล ซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์เป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังพบว่า บริเวณผนังเซลล์ที่เกิดจุดสีน้ำตาลแดงมีความหนาเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการสร้างสารประกอบลิกนินเพิ่มขึ้น (Hyodo *et al.*, 1978 ; Ke and Salveit, 1988) ซึ่งสอดคล้องกับ Ritenour *et al.* (1995) ที่รายงานว่า เอทธิลีนความเข้มข้น 10 ส่วนต่อล้านส่วน สามารถกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PAL ของผักกาดหอมห่อที่ทุกระดับอุณหภูมิ (0, 5, 15 และ 20 องศาเซลเซียส) ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ระยะเวลาของการได้รับเอทธิลีนยังมีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อด้วย ซึ่งพบว่าผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นที่ได้รับเอทธิลีนความเข้มข้น 2 ส่วนต่อล้านส่วน นาน 1 วันแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน ปรากฏว่า ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นที่ได้รับเอทธิลีนมีคุณภาพการยอมรับเมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกับผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นที่ไม่ได้รับเอทธิลีนก่อนการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม หากผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นได้รับเอทธิลีนเป็นระยะเวลานานเพิ่มขึ้นคือ 2, 3 หรือ 4 วัน ทำให้คุณภาพการยอมรับลดลงอย่างชัดเจน (Couture *et al.*, 1993) เช่นเดียวกับ Kim and Wills (1995) ที่รายงานว่า การลดปริมาณเอทธิลีนในระหว่างการเก็บรักษาให้น้อยลงสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมห่อได้

2. การหายใจเพิ่มขึ้น

อัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทธิลีน นอกจากนี้เอทธิลีนยังกระตุ้นการย่อยสลายของอาหารสะสมและสตาร์ช รวมทั้งการเกิดกิจกรรมต่างๆ ภายในกระบวนการของวงจรเครบส์ (Kreb' cycle) และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Laties, 1995) การหายใจที่เพิ่มขึ้นอาจจะเป็นผลมาจากการเกิดบาดแผล โดยพบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่เกิดบาดแผลจากการหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน

ทำให้ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นมีอัตราหายใจเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของผักกาดหอมห่อทั้งหัวที่ไม่ได้รับบาดแผล และตลอดอายุการเก็บรักษานาน 10 วัน อัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นยังคงมากกว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัว เช่นเดียวกับแครอทหั่นชิ้นที่มีอัตราหายใจเพิ่มขึ้นเป็น 1.7 เท่าของแครอททั้งหัว โดยที่อัตราการหายใจของแครอทหั่นชิ้นจะเพิ่มขึ้นและสูงกว่าแครอททั้งหัวตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษาจนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้การเกิดบาดแผลยังมีผลต่ออัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นของผลิตผลหั่นชิ้นหลายชนิด เช่น เซลารี่ แรดิช ต้นหอม และเอนไดว์ (endive) เป็นต้น ซึ่งการเกิดบาดแผลของผลิตผลหั่นชิ้นเป็นการได้รับสภาพความเครียดที่ทำให้เกิดการสร้างเอทธิลีน และมีผลต่อการกระตุ้นการหายใจของผลิตผลหั่นชิ้นให้มีอัตราการหายใจมากกว่าผลิตผลทั้งหัวหรือทั้งผล (ดนัย, 2540 ; Priepke *et al.*, 1976)

3. การสูญเสียน้ำหนัก

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญมากในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเฉพาะในเซลล์ของผักและผลไม้จะมีปริมาณน้ำสูงมาก เนื้อเยื่อของผลิตผลมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 80-95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการสูญเสียน้ำของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหาย เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และมีรูปร่างเปลี่ยนไป โดยทั่วๆไปหากผลิตผลมีการสูญเสียน้ำไปเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลิตผลเหี่ยว มีคุณภาพลดลง และอาจขายไม่ได้ราคา ถ้าผลิตผลอยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงหรือลมพัดจะยิ่งกระตุ้นให้เกิดการเหี่ยวได้เร็วขึ้นภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง (ดนัย, 2540) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก (จริงแท้, 2538 ; ดนัย, 2540 ; Wills *et al.*, 1998) มีดังต่อไปนี้

ก. อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร

ปัจจัยสำคัญต่อการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลคือ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ซึ่งผลิตผลที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลได้มากกว่าผลิตผลที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย ตัวอย่างเช่น ผักใบ (edible leaves) มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร เท่ากับ 50-100 ตารางเซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร ขณะที่พืชหัว (tubers) มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร เท่ากับ 0.5-1.5 ตารางเซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นจึงทำให้ผักใบมีการสูญเสียน้ำมากกว่าพืชหัว เช่นเดียวกับที่พบในผักใบอื่นๆ เช่น ผักโขม หรือไม้ตัดดอก ซึ่งได้แก่ กุหลาบมีการสูญเสียน้ำและน้ำหนักมากกว่าผลไม้อื่นๆ เช่น แอปเปิล เป็นต้น นอกจากนี้ในผลไม้หรือพืชหัวที่มีขนาดเล็กมีการสูญเสียน้ำได้มากกว่าผลิตผลที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเมื่อคิดเปรียบเทียบต่อน้ำหนักที่เท่ากันแล้วผลขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่า

เช่นเดียวกับผลิตผลหั่นชิ้นที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น

ข. ลักษณะผิวของผลิตผล

ผลิตผลหลายชนิดมีสารเคลือบผิวที่เรียกว่า คิวติเคิล (cuticle) ซึ่งสามารถป้องกันการระเหยของน้ำได้ คิวติเคิลประกอบด้วยสารประเภทไข ได้แก่ แวกซ์ (wax) และ คิวติน (cutin) ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงมีบทบาทสำคัญต่อการรักษาปริมาณน้ำให้สูงอยู่ตลอดเวลา และเป็นสภาพที่มีความจำเป็นต่อการดำเนินไปของกระบวนการทางเมแทบอลิซึม และการเจริญเติบโตของผลิตผล นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างของคิวติเคิลมีความสำคัญต่อการป้องกันการสูญเสียน้ำมากกว่าความหนาของชั้นคิวติเคิล ลักษณะโครงสร้างของคิวติเคิลที่มีความซับซ้อนและสานทับกันแน่นจะช่วยป้องกันการระเหยของน้ำได้ดีกว่าคิวติเคิลที่มีผิวเรียบและไม่มีโครงสร้างซับซ้อน ถึงแม้จะมีคิวติเคิลเคลือบหนาก็ตาม นอกจากนี้เนื้อเยื่อที่อยู่ใต้ผิวควรมีโครงสร้างที่แน่น มีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อย จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำได้ช้าลง

ค. การเกิดบาดแผล

การเกิดบาดแผลเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่น้ำจะระเหยออกไปจากผลิตผลได้ง่าย และสะดวกกว่าช่องทางอื่นๆ เพราะสิ่งที่ป้องกันการเข้าออกของน้ำถูกทำลายไปหมด นอกจากบาดแผลที่เป็นช่องเปิดโดยตรงแล้วรอยช้ำที่เกิดจากการกระทบกระเทือนจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำได้มากขึ้นเช่นกัน เพราะเมื่อเซลล์ถูกทำลาย เชื้อจุลินทรีย์จะเข้าที่บริเวณนั้นและเจริญเติบโต รวมทั้งทำลายโครงสร้างในการป้องกันการสูญเสียน้ำให้หมดไป เกิดเป็นช่องเปิดให้เกิดการสูญเสียน้ำได้

4. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตผลหั่นชิ้นและผลิตผลทั้งหัวมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา เช่น ผักกาดหอมห่อและแครอทระหว่างการเก็บรักษา Priepke *et al.* (1976) รายงานว่า ลักษณะภายนอกและรสชาติของผักกาดหอมห่อทั้งหัวค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อหั่นชิ้น โดยที่ผักกาดหอมห่อทั้งหัวมีคุณภาพภายนอกและรสชาติต่ำกว่าระดับคะแนนที่สามารถยอมรับได้เมื่อมีอายุการเก็บรักษานาน 10 วัน ในขณะที่ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นมีคุณภาพภายนอกและรสชาติต่ำกว่าระดับคะแนนที่สามารถยอมรับได้ เมื่อมีอายุการเก็บรักษานาน 8 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าในแครอททั้งหัวมีคุณภาพและรสชาติต่ำกว่าระดับคะแนนที่สามารถยอมรับได้เมื่อมีอายุการเก็บรักษานาน 10 วัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับแครอทหั่นชิ้นที่มีคุณภาพภายนอก

และรสชาติต่ำกว่าระดับคะแนนที่สามารถยอมรับได้ เมื่อมีอายุการเก็บรักษานานเพียง 6 วันเท่านั้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างของคุณภาพภายนอก และรสชาติของผลิตผลหั่นชิ้นกับทั้งหัว อาจเกิดจากการเกิดบาดแผลในขั้นตอนการตัดของผลิตผลหั่นชิ้น ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผักกาดหอมห่อหั่นชิ้น พบว่า คุณภาพการยอมรับโดยรวม (overall visual quality) มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวใบ (leaf surface browning) การเกิดสีน้ำตาลที่ขอบใบ (leaf edge browning) การเกิดจุดสีน้ำตาลแดงที่เส้นกลางใบ รวมทั้งการเกิดรสชาติหรือกลิ่นที่ผิดปกติ และการสูญเสียความกรอบ หรือการเหี่ยวของเนื้อเยื่อด้วย (Heimdal *et al.*, 1995 ; Lopez-Galvez *et al.*, 1996)

5. การเกิดสีน้ำตาล

การเกิดบาดแผลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยาของผลิตผลมากมาย โดยเฉพาะการเกิดบาดแผลของผักกาดหอมห่อหั่นชิ้น สามารถกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมของการสร้างสารประกอบฟีนอล ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดและการสูญเสียคุณภาพ ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีเอนไซม์ PAL ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (Lopez-Galvez *et al.*, 1996 ; Loaiza-Velarde *et al.*, 1997) ซึ่ง Lopez-Galvez *et al.* (1996) ได้รายงานว่า การหั่นชิ้นของ ผักกาดหอมห่อทำให้การทำงานของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นด้วย ผลการศึกษาในผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด และผักกาดหอมโรเมนหั่นชิ้น พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษามีสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น 4 ชนิด ได้แก่ chlorogenic acid, isochlorogenic acid, caffeoyltartaric acid และ dicaffeoylquinic acid โดยที่ chlorogenic acid มีจำนวนเพิ่มขึ้นมากที่สุดในผักกาดหอมที่เกิดสีน้ำตาลทั้งสามชนิด (Tomas-Barberan *et al.*, 1997) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นเนื่องจากสารประกอบฟีนอลเหล่านี้ถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ PPO ที่พบในส่วนของไซโทพลาสซึม (cytoplasm) เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาลส่งผลให้เนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลแสดงอาการสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และสารประกอบฟีนอล เมื่อทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ POD เกิดการสร้างสารประกอบลิกนิน ซึ่งทำให้ผนังเซลล์ที่เกิดบาดแผลมีความหนามากขึ้น (Ke and Saltveit, 1988, 1989) Peiser *et al.* (1998) ยังรายงานว่า การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหาย ส่วนใหญ่เกิดขึ้นรอบๆ ของบาดแผล หรือบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดบาดแผลมากกว่าตรงบริเวณที่เกิดบาดแผลโดยตรง

นอกจากการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมห่อจากการมีบาดแผลแล้วการเกิดสีน้ำตาลยังมีสาเหตุมากจากการได้รับเอทธิลีน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงในระหว่างการเก็บรักษา (Brecht *et al.*, 1973 ; Hyodo *et al.*, 1978 ; Peiser *et al.*, 1998) ระดับความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมห่อมีเกณฑ์การพิจารณาหลายประการดังต่อไปนี้ ประการแรก คือ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งแบ่งความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลออกเป็นระดับคะแนนต่างๆ (Kader *et al.*, 1973) ประการที่สอง คือ การพิจารณาการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PAL ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญในกระบวนการเกิดสีน้ำตาล (Hyodo *et al.*, 1978) ประการที่สาม คือ การพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PAL (Singleton and Rossi, 1965 ; Ketsa and Atantee, 1998) และประการสุดท้าย คือ การวัดการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องวัดสี (chroma meter) ที่สามารถแสดงค่าของการวัดสีออกมาในรูปของค่า L* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสว่างของสี ค่า a* เป็นค่าที่แสดงความแตกต่างระหว่างสีเขียวและสีแดง ค่า b* เป็นค่าที่แสดงความแตกต่างระหว่างสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่า hue angle (hue) เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนระหว่างค่า a* และค่า b* นอกจากนี้ยังมีค่า chroma (C*) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเข้มของสี และค่า total color difference (dE) ที่เป็นความแตกต่างระหว่างค่าสีในวันเริ่มต้นกับค่าสีในแต่ละวันของการเก็บรักษา ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นในระหว่างการเก็บรักษาทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า L*, b*, hue และ C* ลดลง แต่จะทำให้ค่า a* และค่า dE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Gnanasekharan *et al.*, 1992 ; Heimdal *et al.*, 1995 ; Lopez-Galvez *et al.*, 1996 ; Peiser *et al.*, 1998)

6. การเข้าทำลายของจุลินทรีย์

การเกิดบาดแผลของผลิตผลหั่นชิ้นเป็นการทำลายส่วนที่ปกคลุมผิว และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวกับน้ำหนักของผลิตผลให้มากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งของการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ (Beuchat and Brackett, 1990) Priepke *et al.* (1976) รายงานว่า ในผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น 1,000 เท่าของจำนวนจุลินทรีย์ในวันแรกของการเก็บรักษาเมื่อเก็บรักษานาน 8 วัน ขณะที่ผักกาดหอมห่อทั้งหัวมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์เท่ากันเมื่อเก็บรักษานาน 10 วันที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ในผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นและทั้งหัวมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับในเอนไดว์หั่นชิ้นและทั้งหัวที่มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์คล้ายกับผักกาดหอมห่อ สำหรับแครอทหั่นชิ้นและทั้งหัว พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

นาน 8 วัน แต่เมื่อเก็บรักษานาน 10 วันที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ในแครอทหั่นชิ้นเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าของแครอททั้งหัว ส่วนเซลารี่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส พบว่า เซลารี่ทั้งหัวมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์มากกว่าเซลารี่หั่นชิ้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างชัดเจน โดยที่จำนวนจุลินทรีย์ในเซลารี่หั่นชิ้นเพิ่มขึ้น 1,000 เท่าของจำนวนจุลินทรีย์ในวันแรกของการเก็บรักษาเมื่อเก็บรักษานาน 8 วัน ขณะที่ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาเซลารี่ทั้งหัวมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์เพียง 10 เท่าของจำนวนจุลินทรีย์ในวันแรกของการเก็บรักษา สำหรับแรดิชและต้นหอมหั่นชิ้นและทั้งต้น พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ที่คล้ายกับเซลารี่ ซึ่ง Nguyen-the and Carlin (1999) รายงานว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total microbial count) ภายหลังกระบวนการจัดการควรมีจำนวนอยู่ระหว่าง 3 log – 6 log CFU/g

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เข้าทำลายผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นคือ เชื้อแบคทีเรีย แต่สามารถพบจุลินทรีย์ประเภทยีสต์และราบ้างเล็กน้อย โดยที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ (97.3 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียทั้งหมด) จะเป็นประเภทแกรมลบรูปแท่ง ซึ่งมักเป็นกลุ่มของ *Pseudomonas* (56.7 เปอร์เซ็นต์) *Serratia* (8.1 เปอร์เซ็นต์) และ *Erwinia* (8.1 เปอร์เซ็นต์) และยังตรวจพบจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆบ้างเล็กน้อยในกลุ่มของ *Flavobacterium Xanthomonas Janthinobacterium* และ *Alcaligenes* ส่วนยีสต์จะพบในกลุ่มของ *Cryptoccus Pichia Torulaspora* และ *Trichosporon* ราส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มของ *Penicillium* รองลงมาคือ *Rhizopus Cladosporium Phoma Aspergillus* (King *et al.*, 1991)

การรักษาคุณภาพของผลิตผลหั่นชิ้น

ผลิตผลหั่นชิ้นเกิดการเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากเนื้อเยื่อเกิดบาดแผลและขาดส่วนที่ปกคลุมผิวหรือคิวติเคิล นอกจากนี้กระบวนการเมแทบอลิซึมของเนื้อเยื่อถูกกระตุ้นให้สูงขึ้นจากการได้รับความเสียหายทางกายภาพ ซึ่งเกิดจากกระบวนการหั่นชิ้น (Watada *et al.*, 1996) การรักษาคุณภาพของผลิตผลหั่นชิ้น สามารถปฏิบัติได้หลายวิธี

1. อุณหภูมิต่ำ

ผลิตผลหั่นชิ้นโดยทั่วไปจะเกิดการเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากผลิตผลหั่นชิ้นได้รับสภาพความเครียดหลายประการ เช่น การปอกเปลือก การตัด การหั่น การฉีก และการกำจัดแกนกลางออก ดังนั้นซึ่งจำเป็นต้องเก็บรักษาผลิตผลหั่นชิ้นไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อไว้ที่อุณหภูมิสูง (15 และ 20 องศาเซลเซียส) สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PAL ให้เพิ่มขึ้นและถึงระดับสูงสุดภายในระยะเวลาเพียง 4 และ 2 วัน ตามลำดับ หลังจากนั้นการทำงานของเอนไซม์ PAL จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเป็นผลมาจากที่ระดับอุณหภูมิสูง ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาและถึงระดับสูงสุดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลทำให้การสร้างสารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาลในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตาม ในการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่า กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PAL มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่เกิดสีน้ำตาลตลอดอายุการเก็บรักษานาน 8 วัน (Hyodo *et al.*, 1978 ; Ritenour *et al.*, 1995 ; Lopez-Galvez *et al.*, 1996)

นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่ออีกมาก Bolin *et al.* (1977) ได้รายงานว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีคุณภาพดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส และ Hyodo *et al.* (1978) ได้รายงานว่า ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0.5 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดจุดสีน้ำตาลแดงของผักกาดหอมห่อได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 5.5 องศาเซลเซียส

2. การใช้ความร้อน

การเกิดบาดแผลสามารถกระตุ้นการเกิดสีน้ำตาล แต่สามารถชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ด้วยการใช้ความร้อน การจุ่มผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 1.5 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PAL เพราะการได้รับความร้อนจะทำให้เกิดโปรตีนชนิดใหม่ เรียกว่า heat shock protein (hsp) ซึ่งมีผลทำให้การสร้างสารประกอบฟีนอลลดลง และชะลอเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดของผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นได้ แต่การใช้ความร้อนเพื่อชะลอการเกิดสีน้ำตาลดังกล่าวต้องกระทำภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมงก่อนหรือภายหลังการหั่นชิ้น ซึ่งการจุ่มน้ำร้อนสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณตัดของ

ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นได้นาน 15 วันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Ritenour *et al.*, 1995 ; Saltveit, 2000)

การจุ่มน้ำร้อนต้องควบคุมระดับอุณหภูมิและระยะเวลาให้เหมาะสม หากใช้อุณหภูมิระดับที่สูงมากเกินไปจะทำให้โปรตีนในเนื้อเยื่อพืช เกิดการเสื่อมสภาพและสูญเสียสมดุลตามธรรมชาติไป นอกจากนี้ยังอาจจะสูญเสียคลอโรฟิลล์ ความแน่นเนื้อ และเกิดสีน้ำตาลได้ ลักษณะอาการดังกล่าวเป็นความเสียหายเนื่องจากการได้รับความร้อน (heat damage) นอกจากนี้ การใช้ความร้อนเพื่อชะลอการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมห่อจะมีประสิทธิภาพดี เมื่อภายในเนื้อเยื่อของผลิตผลมีกิจกรรมของเอนไซม์และสารประกอบฟีนอลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในระดับต่ำเท่านั้น ซึ่งหากผักกาดหอมห่อได้รับสภาพความเครียด เช่น มีการเข้าทำลายของโรคและแมลง จะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้ความร้อนต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลลดลง ความแตกต่างระหว่างชนิดของผลิตผลมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการใช้ความร้อน ซึ่งพบว่าการจุ่มน้ำร้อนสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมห่อได้นาน 15 วันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ขณะที่สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมโรเมนและผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดได้นานเพียง 3 และ 5 วันตามลำดับ ที่สภาพการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในผักกาดหอมห่อมีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PAL และการสร้างสารประกอบฟีนอลต่ำกว่าผักกาดหอมโรเมนและผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด (Tomas-Barberan *et al.*, 1997 ; Saltveit, 2000)

3. การดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

ผลิตผลหั่นชิ้นส่วนใหญ่มีการบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนหรือโพลีโพรพิลีนหรือถาดที่ห่อหุ้มด้านบนด้วยแผ่นพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ ทำให้ส่วนประกอบของบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากผลิตผลยังคงมีกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้น เช่น การหายใจ ส่งผลให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุระหว่างการเก็บรักษา โดยที่ระดับความเข้มข้นของก๊าซภายในภาชนะบรรจุมีความสัมพันธ์กับชนิดของผลิตผล และประเภทของพลาสติกที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุ ซึ่งหากมีความสมดุลกันระหว่างการลดลงของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นกับการผ่านเข้าออกของก๊าซภายในภาชนะบรรจุจะส่งผลให้มีกระบวนการเมแทบอลิซึมลดลงและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลหั่นชิ้น โดยพลาสติกที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อควรมีอัตราการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซมากกว่า

3,000 มิลลิลิตร/ตารางเมตร/วัน/ความดัน 1 บรรยากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส (McDonald and Risse, 1990 ; Cantwell, 2002) Lopez-Galvez *et al.* (1996) รายงานว่า ในสภาพการเก็บรักษาที่มีก๊าซออกซิเจน 3 เปอร์เซ็นต์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อหั่นชิ้น เนื่องจากสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่แผ่นใบ ขอบใบ และเส้นกลางใบตลอดจนรักษา คุณภาพภายนอกและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 12 วันที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับ Ke and Saltviet (1989) ที่รายงานว่า ภายใต้สภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ ทำให้ผักกาดหอมห่อมีการสร้างเอทธิลีนและมีอัตราการหายใจลดลง รวมทั้งมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ POD และการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลลดลง ซึ่งมีผลทำให้สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมห่อในระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นสามารถทนต่อสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำสุดถึง 1 เปอร์เซ็นต์และทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดได้ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากผลิตผลหั่นชิ้นไม่มีส่วนของคิวติเคิลหรือเซลล์ผิวในการควบคุมการแพร่ผ่านเข้าออกของก๊าซ รวมทั้งระยะทางในการแพร่ผ่านเข้าออกของก๊าซจากจุดศูนย์กลางไปสู่ภายนอกของผลิตผลหั่นชิ้นสั้นกว่าผลิตผลทั้งหัว จึงไม่ก่อให้เกิดการสะสมของก๊าซในปริมาณที่มากเกินไป จนทำให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อในระหว่างการเก็บรักษา (ยงยุทธ, 2541 ; Watada and Qi, 1999)

การดัดแปลงสภาพบรรยากาศในระหว่างการเก็บรักษา ยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตผลหลายชนิด Yamauchi and Watada (1993) รายงานว่า ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน สามารถลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในผักชีฝรั่ง (parsley) ในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าสภาพบรรยากาศปกติจะมีผลช่วยยับยั้งการสังเคราะห์และลดกิจกรรมของเอทธิลีน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกระตุ้นการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ขณะที่สภาพบรรยากาศที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาซึ่งสามารถป้องกันการเน่าเสียและการเกิดสีน้ำตาลของบรอคโคลีมีความผันแปรตามระดับอุณหภูมิของการเก็บรักษา ซึ่งพบว่า ก๊าซออกซิเจน 0.5 เปอร์เซ็นต์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมต่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือ 1 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Izumi *et al.*, 1996) Siomos *et al.* (2001) รายงานว่า หน่อไม้ฝรั่งซึ่งเก็บรักษาในที่มืดที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ และในสภาพการเก็บรักษาที่มีแสง

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถระงับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน ทำให้หน่อไม้ฝรั่งมีคุณภาพของสีดีตลอดอายุการเก็บรักษานาน 6 วันที่อุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียส ส่วนในหอมหัวใหญ่หั่นชิ้น พบว่า ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน 2 เปอร์เซ็นต์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะทางด้านกลิ่นของหอมหัวใหญ่และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ รวมทั้งสามารถลดอัตราการหายใจและรักษาปริมาณน้ำตาลซูโครสในหอมหัวใหญ่ระหว่างการเก็บรักษาด้วย (Blanchard *et al.*, 1996)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University