

บทที่ 2

สำรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญ

มะเขือเทศจัดเป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี 2555 มีปริมาณการส่งออก 110,720 ตัน หรือคิดเป็นมูลค่ากว่า 1,277 ล้านบาท (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) โดยพื้นที่ปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่เชิงธุรกิจที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ นครปฐม กาญจนบุรี เชียงใหม่ เชียงราย และนครราชสีมา (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) มะเขือเทศสามารถนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย ตั้งแต่บริโภคผลสด ประุงอาหาร ไปจนถึงเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเกษตร มะเขือเทศที่นิยมบริโภคแบบผลสดและผู้บริโภคที่รักษาสุขภาพให้ความสนใจค่อนข้างมาก คือ มะเขือเทศเชอร์รี่ (cherry tomato) เป็นมะเขือเทศชนิดที่มีผลขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ผลสุกจะมีสีแดงสด เนื้อแน่นและรสชาติหวานอมเปรี้ยว จึงเหมาะแก่การรับประทานสด อุดมด้วยวิตามิน A และ C ผลสดของมะเขือเทศเชอร์รี่จะให้ปริมาณของสารไลโคปีนเป็นรงควัตถุที่มีสีแดงมากที่สุดพบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่มีปริมาณสารไลโคปีน ตั้งแต่ 0.9-9.8 กรัมในมะเขือเทศสด 100 กรัม (Tawfik, 2001) ไลโคปีนมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ จึงสามารถช่วยลดการเกิดมะเร็งในลำไส้และมะเร็งต่อมลูกหมากได้ และยังพบกรดอะมิโนกลูตามิก โมนโอโซเดียมกลูตาเมต ซึ่งช่วยเพิ่มรสชาติของอาหาร (เมฆ จันทร์ประยูร, 2544)

เกษตรอินทรีย์ คือการทำการเกษตรด้วยหลักธรรมชาติ บนพื้นที่การเกษตรที่ไม่มีสารพิษตกค้างและหลีกเลี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีทางดิน ทางน้ำ และทางอากาศ เพื่อส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดินความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศน์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมให้กลับคืนสู่สมดุลธรรมชาติโดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์หรือสิ่งที่ได้มาจากการตัดต่อพันธุกรรม การปลูกพืชแบบเกษตรอินทรีย์นั้นมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และทำให้อาหารปลอดภัยจากสารพิษ นอกจากนี้ผลิตผลพืชอินทรีย์ที่ได้มีคุณภาพดี เช่น มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ มีโครงสร้างของเนื้อนุ่มกรอบแน่น มีรสชาติดีไม่มีสารพิษตกค้าง และสามารถเก็บรักษาได้นาน (สำนักงานเกษตรจังหวัดชุมพร, 2556) ผักและผลไม้เป็นแหล่งที่สำคัญสำหรับวิตามิน สารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) แร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งสาร ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และสารพฤษเคมีต่างๆ (Ismail and Fun, 2003) ซึ่ง Carotenoid จัดว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญอีกกลุ่มหนึ่ง ประกอบด้วย สารไลโคปีน และ เบต้าแคโรทีน ซึ่งเบต้าแคโรทีนยังเป็นสารที่มีความสำคัญคือจัดเป็นสาร pro-vitamin A นอกจากนี้วิตามินซี (ascorbic acid, vitamin C) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกชนิดหนึ่งที่พบในผักและผลไม้ ทั้งในรูปแบบ L-ascorbic acid และ dehydro ascorbic acid (Deutsch, 2000; Lee และ Kader,

2000) วิตามินซีจัดเป็นสารที่สำคัญในการบริโภคต่อวัน เพราะวิตามินซีมีผลต่อต้านสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (anticarcinogenic effect) และลด tocoferol radicals (Kim et al., 2002; Klimezak et al., 2007)

การเก็บรักษาผักและผลไม้ให้คงความสดไว้ได้นาน ต้องอาศัยการจัดการที่เหมาะสมหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วผลิตผลยังมีกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เช่น การหายใจ การคายน้ำ และการผลิตก๊าซเอทิลีน ซึ่งก๊าซเอทิลีนนี้เป็นฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตของพืชส่งผลให้เกิด การสุก และการเสื่อมสภาพของผักและผลไม้ บรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการกำจัดก๊าซเอทิลีนจะช่วย ยืดอายุ ผลิตผลได้ (Mahovic et al., 2007, Rooney 1995; Brody 2001) ปัจจุบันมีการพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีน เช่น การพัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของ (PE/Styrenic copolymer)/Zeolite ทำ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการอัดรีดแบบฟิล์มเป่า ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการเลือกซึมผ่านของก๊าซเอ ทิลีน เมื่อนำฟิล์มชนิดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวมาบรรจุผักผลไม้ ช่วยในการชะลอการเสื่อมสภาพผักผลไม้ สดได้ เรียกบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้ว่า บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ , 2553) นอกจากนี้การฉายรังสี UV-B กับผลิตผลสดทางการเกษตร สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ และไม่มีสารเคมีตกค้าง โดยผลของการฉายรังสี UV-B ที่มีต่อคุณภาพภายในคือ มีการเพิ่มขึ้นของ สารประกอบที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระและ กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (Costa et al., 2002; Xu et al., 2008)

ดังนั้นการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และปริมาณรังสี UV-B ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษามะเขือเทศเชอ รีจึงมีความจำเป็น เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้จัดจำหน่ายและ ผู้บริโภคทราบถึงประโยชน์ของมะเขือเทศเชอ รี

2.2 เกษตรอินทรีย์

เกษตรอินทรีย์ถือได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของการเกษตรแบบยั่งยืน และมีการผสมผสานเทคนิคการเกษตร จากหลากหลายระบบ แต่สิ่งที่ทำให้เกษตรอินทรีย์แตกต่างไปจากระบบการเกษตรอื่นๆ คือ การมี มาตรฐานควบคุม และการตรวจสอบรับรอง โดยเกือบทั้งหมดของปัจจัยที่เป็นสารสังเคราะห์ถูกห้ามใช้ ในขณะที่ต้องมีการปรับปรุงบำรุงดินด้วยการปลูกพืชหมุนเวียน (FAO, 1999)

สหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International federation of organic agriculture movements: IFOAM) ได้ให้ความหมายของเกษตรอินทรีย์ไว้ว่า “ระบบการเกษตรที่ผลิตด้วยความยั่งยืน ทางด้านความอุดม

สมบูรณ์ของดิน ระบบนิเวศ และประชากร ซึ่งเน้นการพึ่งพิงกระบวนการทางระบบนิเวศ ความหลากหลายทางชีววิทยา และวงจรชีวภาพ มีการประยุกต์ให้สอดคล้องตามเงื่อนไขของสภาพท้องถิ่นมากกว่าการใช้ปัจจัยการผลิตซึ่งมีผลกระทบในภายหลัง เกษตรอินทรีย์ รวมวัฒนธรรม นวัตกรรม และวิทยาศาสตร์เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม และการส่งเสริมความสัมพันธ์ที่เป็นธรรม ตลอดจนคุณภาพชีวิตที่ดีของสิ่งมีชีวิตทั้งปวง”

การรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย

หน่วยงานรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักด้วยกัน คือ หน่วยงานรับรองภาครัฐ หน่วยงานรับรองขององค์กรเอกชน ซึ่งมีตราสัญลักษณ์ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และหน่วยงานรับรองของต่างประเทศ Ellis et al. (2006) รายงานว่า ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เกษตรอินทรีย์ของประเทศไทยได้รับการรับรองจากหน่วยงานรับรองของต่างประเทศ และมุ่งเน้นเพื่อการส่งออกเป็นหลัก (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ตราสัญลักษณ์ และหน่วยงานรับรองในประเทศไทย

ตราสัญลักษณ์	หน่วยงานรับรอง	ชื่อ และคำอธิบาย
	กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์	“Organic Thailand”
	สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.)	“Organic standard” ได้รับการรับรองระบบงานเกษตรอินทรีย์ IFOAM

แหล่งที่มา: Ratanawaraha et al. (2007)

ตารางที่ 2.2 การรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย

หน่วยงานรับรอง	% พื้นที่เกษตรอินทรีย์
สถาบันพีชอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร)	13%
สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท).	37%
เครือข่ายองค์กรพัฒนาเอกชนภาคเหนือ	0.3%
หน่วยงานเอกชนจากต่างประเทศ	50%

แหล่งที่มา: Ellis et al. (2006)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านเกษตรอินทรีย์

Maggio et al. (2013) รายงานว่าการปลูกกะหล่ำดอกแบบอินทรีย์กับแบบใช้เคมีนั้น ขนาดของดอกกะหล่ำที่ปลูกแบบอินทรีย์มีขนาดใหญ่กว่า และน้ำหนักสดต่อกรัมมากกว่ากะหล่ำดอกที่ปลูกแบบเคมี ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกแบบเคมีในบางสายพันธุ์ดอกสีเขียวและสีแดงแต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ และพบว่าธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสสูงกว่าในหัวกะหล่ำที่ปลูกแบบเคมี

Maggio et al. (2013) พบว่าในผักเอนไคฟ์ปลูกแบบอินทรีย์แบบไม่คลุมหน้าดิน กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายไขมันได้นั้นมีปริมาณสูงชันกว่าผักเอนไคฟ์ที่ปลูกแบบเคมี และการปลูกแบบอินทรีย์โดยใช้ดินดำในการเพาะปลูก ทำให้การสะสมของแร่ธาตุโพแทสเซียมในผักชุกินีสูงกว่าวิธีการปลูกแบบเคมี

Zuchowski et al. (2011) พบว่าสารเมทาบอลไลท์ คือสาร ferulic acid และ *p*-coumaric acid ในข้าวสาลีที่ปลูกแบบอินทรีย์มีความเข้มข้นสูงกว่าข้าวสาลีที่ปลูกแบบเคมี ในทางตรงข้ามรายงานของ Zörb et al. (2006) ไม่พบความแตกต่าง ของสารเมทาบอลไลท์ ทุติยภูมิระหว่างการปลูกแบบอินทรีย์และการปลูกแบบเคมีในเมล็ดข้าวสาลี

Röhling and Engel (2010) พบว่า metabolic profile ของเมล็ดข้าวโพดที่ปลูกแบบอินทรีย์กับปลูกแบบเคมี ส่วนใหญ่สัมพันธ์กับยีน และสภาพแวดล้อมมากกว่าระบบการปลูก และพบว่าทั้งสองวิธีการปลูก มีสารฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับในหัวหอมอินทรีย์ และแครอทอินทรีย์ (Søltøft et al., 2010) และงานของ Nascimento et al. (2013) ทดลองปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่ระบบอินทรีย์โดยใส่ปุ๋ย

คอกที่ปริมาณแตกต่างกันพบว่า มะเขือเทศเชอร์รี่ใส่ปุ๋ยคอกปริมาณไนโตรเจน 300 และ 400 kg/ha มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ สารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าเมื่อเทียบกับไม่ได้ใส่ปุ๋ยคอก ในขณะที่มะเขือเทศเชอร์รี่อินทรีย์ที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยคอกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP สูงที่สุด แต่การใส่ปุ๋ยคอกแก่มะเขือเทศอินทรีย์ทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์มีปริมาณน้อยลง

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะเขือเทศเชอร์รี่

มะเขือเทศเชอร์รี่ หรือบางที่เรียก มะเขือเทศคอกคำ ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Lycopersicon esculentum* อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบชายฝั่งทะเลตะวันตกของทวีป อเมริกาใต้แถบประเทศเปรู ชิลี และเส้นศูนย์สูตร มะเขือเทศมีลำต้นและระบบกิ่งก้านที่แตกแขนง สลับกันเป็นจำนวนมาก ลำต้นอ่อนมีขน ปกคลุม ลำต้นแก่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ในระยะแรกของการเจริญเติบโต ลำต้นตั้งตรงใน ระยะหนึ่ง ต่อมาเมื่อลำต้นสูง 1-2 ฟุต จะทอดไปในแนวราบ ใบ เป็นใบประกอบเจริญ สลับกัน มีขนอ่อนขึ้นบนใบและมีต่อมสารระเหยที่ขน เมื่อถูกรบกวนจะปลดปล่อยสาร ที่มีกลิ่นออกมา สายพันธุ์ส่วนใหญ่ชอบใบหยัก ระบบรากมะเขือเทศเป็นระบบรากแก้ว เจริญเติบโตได้เร็ว ดอกมะเขือเทศเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดอกมะเขือเทศจะอยู่สลับกันในช่อ ช่อดอกสามารถแตกกิ่งได้มากกว่าสองกิ่ง และการเจริญเติบโตของกิ่งจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งดอกช่อแรกบาน การเพิ่มจำนวนช่อดอกจะทำได้ โดยการใช้อุณหภูมิค่ามะเขือเทศส่วนใหญ่ผสมตัวเอง ผลเป็นแบบ berry จะมีรูปร่างลักษณะ เช่น กลม กลมแป้น กลมยาว หรือเป็นเหลี่ยม ผิวของมะเขือเทศจะไม่มีสีผิว ส่วนผลสีชมพู หรือเหลืองเกิด จากสีของเนื้อผล (อนก ว่างจิตเจริญ, 2557)

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศผลสด

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัม)
พลังงาน (Calories)	19
โปรตีน	0.7 กรัม
ไขมัน	0
คาร์โบไฮเดรต	14 กรัม

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศผลสด

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัม)
แคลเซียม	12 กรัม
ฟอสฟอรัส	24.0 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.4 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	222.0 มิลลิกรัม
วิตามิน A (β -carotene)	540-760 ไมโครกรัม
วิตามิน B1 (thiamin)	50-60 ไมโครกรัม
วิตามิน B2 (riboflavin)	20-50 ไมโครกรัม
วิตามิน B3 (pantothenic acid)	50-75 ไมโครกรัม
วิตามิน B6 complex	80-110 ไมโครกรัม
Nicotinic acid (niacin)	500-700 ไมโครกรัม
Folic acid	6.4-20 ไมโครกรัม
Biotin	1.2-4.0 ไมโครกรัม
วิตามิน C	15-23 ไมโครกรัม
วิตามิน E (α -tocopherol)	40-1200 ไมโครกรัม

แหล่งที่มา: Davies and Hobson, (1981); เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธ์ (2541)

2.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ในการเก็บเกี่ยวผลมะเขือเทศสามารถใช้ลักษณะต่างๆ เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งลักษณะสำคัญที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีของผล ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่าสิ่งอื่นๆ (Kader et al. 1978; ศภพ จูตะวสันต์, 2530; สถิต วิมล, 2532; เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธ์, 2541) แบ่งระยะการแก่ของผลมะเขือเทศไว้ดังนี้ คือ

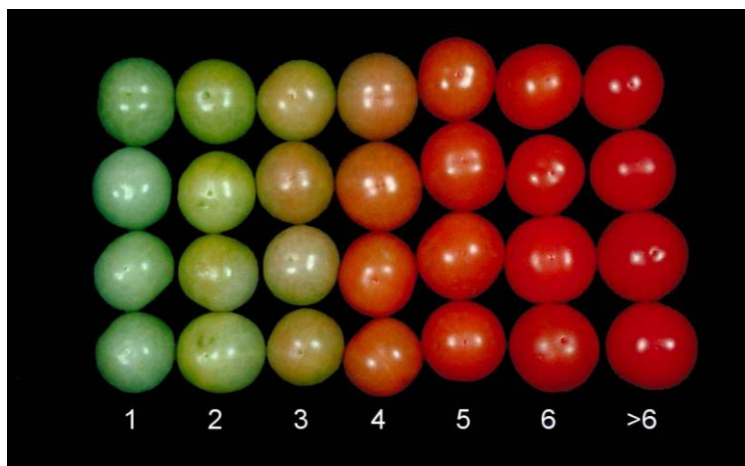
1. immature green ผลมีสีเขียว เมื่อผ่าด้วยมีดตามขวางรอบเมล็ดยังไม่มีการที่มีลักษณะคล้ายรู้น ล้อมรอบเมล็ด ผลจะสุกได้ในเวลา 19-23 วัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งพันธุ์หรือเก็บเกี่ยวผลเมื่ออายุ 22 ± 2 วันหลังดอกบาน

2. mature green ผลมีสีเขียว มีสารที่มีลักษณะคล้ายวุ้นล้อมรอบเมล็ด เมื่อผ่าผลตามขวาง เมล็ดสามารถหลบคมมีดได้โดยไม่ถูกตัดขาด ผลจะสุกในเวลา 9-18 วัน ซึ่งพันธุ์เครือเก็บเกี่ยวผลเมื่ออายุ 26 ± 2 วันหลังดอกบาน

3. breaker เริ่มมีสีชมพูหรือเหลืองเกิดขึ้นให้มองเห็นได้ ผลจะสุกภายในเวลา 8 วัน ซึ่งพันธุ์เครือเก็บเกี่ยวผลเมื่ออายุ 30 ± 2 วัน หลังดอกบาน

4. red ripe ผลมีสีชมพูหรือสีแดงอ่อนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ผลจะสุกในเวลา 3-6 วัน ซึ่งพันธุ์เครือเก็บเกี่ยวผลเมื่ออายุ 36 ± 2 วัน หลังดอกบาน

5. over red ripe ผลมีสีแดงเต็มที่ ซึ่งพันธุ์เครือเก็บเกี่ยวผลเมื่ออายุ 39 ± 2 วันหลังดอกบาน



รูปที่ 2.1 Maturity and ripeness stages of cherry tomatoes (Davis et al., 1981)

2.5 การเปลี่ยนแปลงของผลมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยว

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical changes)

1. ความแน่นเนื้อของผล (firmness) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดขณะสุก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางฟิสิกส์และทางเคมีขององค์ประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) โดยเฉพาะส่วนที่ทำหน้าที่ยึดผนังเซลล์ให้ติดกัน (middle lamella) สารพวก pectic compounds ซึ่งอยู่ใน middle lamella และ cell wall เปลี่ยนรูปจากรูปที่ไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้โดยเอนไซม์ pectolytic enzyme ทำให้เซลล์ยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ และเนื้อเยื่อของผลเกิดการอ่อนตัว (Doty et al., 1981)

2. สีของผล มีความสำคัญและใช้เป็นเครื่องตัดสินว่าผลมะเขือเทศนั้นแก่หรือสุกเพียงใด และยังมี ความสำคัญต่อการคัดคุณภาพของผลทั้งที่ใช้รับประทานสด และส่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูป เมื่อผล มะเขือเทศเริ่มสุกมีการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีเขียวเป็นสีแดงหรือส้ม สีของมะเขือเทศเมื่อสุกนั้นขึ้นอยู่กับ รังควัตถุ 2 ชนิด คือไลโคปีน (lycopene) ซึ่งทำให้มีสีแดง และคาโรทีน (carotene) ซึ่งทำให้มีสีเหลือง (Hobson and Davies, 1971) ในขณะที่ผลมะเขือเทศเริ่มสุก คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปและมีการสร้างไลโคปีนเพิ่มขึ้น (Jose, 1981; Tikoo et al., 1989) และการสังเคราะห์ไลโคปีนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ออกซิเจน และแสง โดยผลมะเขือเทศที่มีสีแดงสม่ำเสมอทั้งผลเป็นผลที่มีคุณภาพดี (Kader et al., 1977; McCollum, 1955; กนกมณฑล ศรีศรีวิชัย, 2526; สายชล เกตุยา, 2528; Buescher and Tigchelaar, 1975)

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemical changes)

1 น้ำตาล ผลมะเขือเทศมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ประมาณ 1.5-4.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลสด หรือเท่ากับ 65 เปอร์เซ็นต์ ของ total soluble solids ซึ่งเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปน้ำตาลประเภทริดิวซิงก์ (Whiting, 1970) น้ำตาลที่สำคัญและมีปริมาณมากคือ D-fructose และ D-glucose ซึ่งทำให้ผลมะเขือเทศมี รสหวาน (Davies and Hobson, 1971) ขณะที่ผลเจริญเติบโตมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะผล เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจนกระทั่งแดง และยังคงเกิดพบว่าในผลมะเขือเทศสุกมีปริมาณน้ำตาลลดลงขณะ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องหลังการเก็บเกี่ยว (Whiting, 1970)

2 กรดอินทรีย์ (organic acids) มีความสำคัญต่อรสชาติของผลมะเขือเทศ กรดอินทรีย์ที่สำคัญใน ผลมะเขือเทศ ได้แก่ กรดซิตริก รองลงมาคือ กรดมาลิก (Davies and Hobson, 1971) ปริมาณกรดในผล มะเขือเทศเพิ่มขึ้นสูงสุดในขณะที่ผลเริ่มสุกเป็นสีชมพู และลดลงเมื่อผลสุกเต็มที่ (Dalal et al., 1965) การ เปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่สามารถวิเคราะห์ได้นั้นถือว่าการเปลี่ยนแปลงของกรดซิตริกเพียงชนิดเดียว (Bradley, 1962)

3 วิตามินซี (ascorbic acid) ผลมะเขือเทศจัดได้ว่าเป็นแหล่งของวิตามินซีที่สำคัญสำหรับมนุษย์ แหล่งหนึ่ง ปริมาณ ascorbic acid ในผลแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ตั้งแต่ 5-70 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผล สด 100 กรัม นอกจากนี้ยังพบว่าผลมะเขือเทศที่สุกเร็วมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผลที่สุกช้ากว่า (Clutter and Miller, 1961) ขณะที่ผลแก่มีปริมาณ ascorbic acid เพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดในระยะก่อนที่ผลจะ สุกมีสีแดงเต็มที่ (Dalal et al., 1965; Malewski and Marakis 1971)

4 แปะง ในผลมะเขือเทศสุกนั้นมีแปะงอยู่ใญ่อยมาก คือ ประมาณ 0.12-0.52 เปะอร์เซ้นต์ ของน้ำหนักผลสด ปริมาณแปะงของผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้นขณะที่ผลเจริญเติบโต และลดลงอย่างรวดเร็วขณะผลสุก (Davies and Hobson, 1971)

5 กรดอะมิโน (amino acid) กรดอะมิโนประเภท free amino acids ในผลมะเขือเทศนั้นมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด และมี glutamic acid มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณอยู่ระหว่าง 50 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม (Davies and Hobson, 1971) Freeman and Woodbridge (1960) รายงานว่าระหว่างที่ผลสุก ปริมาณ glutamic acid และ aspartic acid เพิ่มขึ้นอย่างมาก ขณะที่ amino acid อื่นๆ มีแนวโน้มลดลง โดยคาดว่า amino acid เหล่านี้ถูกนำไปสังเคราะห์โปรตีนหรือเอนไซม์ (Davies and Hobson, 1971)

6 ปริมาณโปรตีนรวม ในผลมะเขือเทศสุกมีปริมาณโปรตีนรวม อยู่ประมาณ 0.48 ถึง 0.55 เปะอร์เซ้นต์ แต่ปริมาณเหล่านี้ยังแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ระหว่างที่ผลกำลังเติบโต ปริมาณโปรตีนลดลงจนถึงระดับต่ำสุดก่อนที่ผลจะแก่เข้าสู่ระยะ mature green หลังจากนั้นปริมาณโปรตีนจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดเมื่อเข้าสู่ระยะสีแดง และลดลงในระยะสุดท้ายของการสุก บทบาทของโปรตีนนั้นเกี่ยวข้องกับการเกิด climacteric ของผลในขณะสุกโดยอาจเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนชนิดต่างๆ รวมถึงเอนไซม์ เช่น pectic enzyme ซึ่งเกี่ยวข้องกับการบวนการสุก (Davies and Hobson, 1971)

7 สารระเหย (volatile components) เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติของผลไม้ Shah et al. (1969) รายงานว่า กลิ่นของผลมะเขือเทศซึ่งสุกอยู่บนต้นนั้นเกิดขึ้น เนื่องจากการผสมของสารในกลุ่ม carbonyls (32%), short chain (C3-C6) alcohols (10%), hydrocarbons และ ester (58%) Dalal, (1965) พบว่าปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้นตามลำดับในขณะที่ผลมะเขือเทศแก่และสุก ซึ่งมีปริมาณสูงสุดประมาณ 0.3-0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผลสด 100 กรัม

2.6 การต้านอนุมูลอิสระของพืช

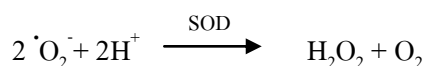
อนุมูลอิสระเป็น โมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่ทำให้มีคุณสมบัติไปทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์โมเลกุลอื่นๆ ให้เสียหายได้ง่าย อนุมูลอิสระมีความเกี่ยวข้องใน programmed cell death ในเซลล์สัตว์และเซลล์พืช อนุมูลอิสระที่สำคัญ ได้แก่ อนุมูลอิสระของออกซิเจน (oxy-radical) เช่น superoxide และ อนุมูล hydroxyl ที่มีฤทธิ์แรงมากสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลอื่นๆ ได้ทุกชนิด ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไขมันและกรดนิวคลีอิกเสียหายได้ง่ายและส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ เยื่อหุ้มเซลล์และสารพันธุกรรมต่างๆ ทำงานผิดพลาดไป รวมทั้ง hydrogen peroxide (H₂O₂) ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระแต่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์และเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย เรียกโมเลกุลเหล่านี้รวมกันว่า Reactive

oxygen species (ROS) ในพืชพบว่าอนุมูลอิสระเกี่ยวข้องกับการหายใจและการหลุดร่วงของใบ รวมทั้งการเสื่อมสภาพของผลิตผลสดที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว เช่น การเหี่ยวของดอกไม้ การเสื่อมสภาพของใบ การสุกของผลมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; Abeles et al., 1992; Giovannoni, 2004, 2007)

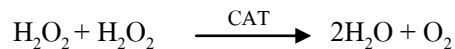
การควบคุมปริมาณของอนุมูลอิสระภายในพืชอาจแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การกำจัดเอาอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นออกไปหรือเรียกว่า scavenging กับอีกลักษณะหนึ่ง ได้แก่ การป้องกันไม่ให้มีการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มมากเกินไปโดยอาศัยการปรับตัวของพืชทั้งทางด้านกายภาพ ด้านสรีรวิทยา ตลอดจนกลไกระดับโมเลกุล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

กลไกหลักในการกำจัดอนุมูลอิสระ ประกอบด้วย ตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หมายถึง โมเลกุลใดๆ ก็ตามที่สามารถรับเอาอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระได้โดยที่ตัวมันไม่เปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ เช่น กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) แคโรทีน กลูต้าไทโอน อัลฟาโทโคฟีโนล (วิตามินอี) รวมทั้งสารประกอบฟีนอล เป็นต้น และเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน (antioxidant enzyme) ซึ่งทำงานรวมกันเป็นระบบ เรียกว่า ระบบต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant system) เอนไซม์หลักในระบบต้านอนุมูลอิสระ เช่น superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT) โดยทั้งสารและเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ทำหน้าที่ประสานกันเป็นระบบ เพื่อไม่ให้ตัวต้านออกซิเดชันกลายเป็นอนุมูลอิสระและเพิ่มจำนวนต่อไป ดังนี้

Superoxide dismutase เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยา dismutation ซึ่งจะเปลี่ยน superoxide ไปเป็นออกซิเดชันและ peroxide ดังสมการ

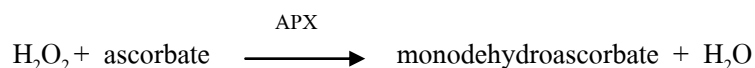


เอนไซม์ Superoxide dismutase นี้เป็นเอนไซม์ที่พบโดยทั่วไปในทุกๆ ส่วนของเซลล์ในพืชพบว่ามีปริมาณมากถึง 2.5% ของโปรตีนทั้งหมด จึงจัดว่าเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่ง ในไมโทคอนเดรียพบว่าเป็นเอนไซม์ที่มีความสัมพันธ์กับโลหะเหล็กและแมงกานีส ในสภาวะปกติเป็นเอนไซม์ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ แต่เมื่อถูกกระตุ้นให้เกิดการสร้างมากขึ้นภายใต้สภาวะเครียดจากออกซิเดชัน (oxidative stress) จะได้เอนไซม์ที่มีแมงกานีสเป็นองค์ประกอบ เมื่อ SOD กำจัด superoxide ไปแล้ว ก็สร้าง H_2O_2 ขึ้นมาแทน และ H_2O_2 อาจเปลี่ยนไปเป็น hydroxyl radical ซึ่งมีฤทธิ์ร้ายแรง ดังนั้นพืชจึงมีกลไกในการควบคุมอนุมูลอิสระซึ่งได้แก่ catalase และ ascorbate peroxidase โดย catalase ช่วยเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็นน้ำตามสมการ



Catalase พบได้ในเพอร์ออกซิโซมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งโดยปกติทำหน้าที่กำจัด H_2O_2 ที่เกิดจากการหายใจเชิงแสง (photorespiration) โดยเฉพาะ อย่างไรก็ตาม ในสภาวะเครียดจากออกซิเดชันพบว่าเซลล์พืชมักสร้างเพอร์ออกซิโซมมากขึ้น catalase จึงน่าจะมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระภายในพืชภายใต้สภาวะเครียดจากสาเหตุต่างๆ

นอกจาก catalase แล้ว H_2O_2 อาจถูกกำจัดได้ด้วยเอนไซม์ peroxidase ต่างๆ เช่น ascorbate peroxidase (APX) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็นน้ำเช่นเดียวกัน แต่ต้องอาศัยกำลังรีดิวซ์ (reducing power) จากกรดแอสคอร์บิกดังสมการนี้



Jimenez et al. (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระที่ระยะต่างๆ 7 ระยะของมะเขือเทศพันธุ์ Ailsa Craig ได้แก่ ระยะ green, mature green, breaker, tuning, pink, red, over-ripe ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ที่ระยะ green มีกิจกรรมสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงในระยะอื่นๆ กิจกรรมของเอนไซม์ SOD มีค่าสูงที่สุดที่ระยะ mature green และมีแนวโน้มลดลง และกิจกรรมของเอนไซม์ APX มีค่ามากที่สุดที่ระยะ green และเมื่อวิเคราะห์มะเขือเทศที่ระยะอื่นๆ กิจกรรมของเอนไซม์ APX มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้งานวิจัยของ Wang et al. (2005) เก็บรักษาลูกพืชในสภาพตัดแปรบรรยากาศโดยใช้ O_2 5%+ CO_2 5% และ O_2 ความความเข้มข้นสูงแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ CAT และ SOD

ในการศึกษาของ Toor et al. (2006) พบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์มีค่าสูงกว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมี 29 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแร่ธาตุจากปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่ง Caris-Veyrat et al. (2004) พบว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมี 31 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าปุ๋ยไนโตรเจนที่ละลายได้จำนวนมากอาจเป็นสาเหตุการเพิ่มขึ้นของกรดแอสคอร์บิก แม้ว่าจะไม่ใช่เหตุผลโดยตรง เป็นที่ทราบดีว่าเมื่อให้ปุ๋ยไนโตรเจนไปกับต้นพืช จะทำให้ปริมาณใบมีมากขึ้นทำให้ไปบดบังผลมะเขือเทศ

นอกจากนี้ปริมาณฟีนอลิกพบในมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์มากกว่าในมะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมี Caris-Veyrat et al. (2004) พบว่าฟีนอลิก เช่น rutin และ naringenin ในมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์และแบบเคมี เท่ากับ 170 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกมีในพืชเป็นสารเมตา

บอไลท์ฟลูออโรมิ ทำหน้าต่อต้านการเข้าลายของโรคเพื่อปกป้องตนเองจากราและแบคทีเรีย (Vickery and Vickery, 1981) และอาจมีสาเหตุอีกอย่างคือ จากความเครียดที่เกิดจากสภาวะอากาศ

Ren et al. (2001) วิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลในค่น้ำ ผักกาดขาวปลี ผักโขม พริกหยวก และกระเทียมที่ปลูกแบบอินทรีย์ เปรียบเทียบกับที่ปลูกแบบเคมี พบว่าปริมาณ โพลีฟีนอล คือ flavonoid quercetin และ caffeic acid ในผักที่ปลูกแบบอินทรีย์สูงกว่าผักที่ปลูกแบบเคมี 1.3 และ 10.4 เท่า ตามลำดับ Giovanelli et al. (2002) ทำการปลูกมะเขือเทศแบบอินทรีย์ในระบบน้ำในนิวซีแลนด์ พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ประมาณ 21.3 ถึง 36.40 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม gallic acid

Borguini et al. (2013) กล่าวว่าแสงเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการผลิตสารฟีนอลิกในพืช มีรายงานว่าปริมาณฟีนอลิกสูงเมื่อได้รับแสงปริมาณมากโดยมะเขือเทศทั้งที่ปลูกแบบอินทรีย์และปลูกแบบเคมี ที่ปลูกบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของบราซิล พบว่ามะเขือเทศทั้งสองวิธีการปลูกบริเวณนี้มีระยะเวลาในการรับแสงจากดวงอาทิตย์ที่ไม่เท่าทำให้ส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกที่ต่างกัน และงานวิจัยนี้พบว่าไลโคปีนในมะเขือเทศ ไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 วิธีการปลูก ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ในผักและผลไม้รวมถึงในมะเขือเทศ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสารต้านอนุมูลอิสระ คือ แสง อุณหภูมิ และระยะสุก Barka et al. (2000)

2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี

วิตามินซี (Ascorbic acid) เป็นสารที่มีความสำคัญพบมากในผักและผลไม้ ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพในผักและผลไม้สดหลายชนิด โดยปริมาณวิตามินซีจะเกิดการสูญเสียได้ง่ายภายหลังเก็บเกี่ยวซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ APX (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) นอกจากนี้ ยังมีอีกหลายปัจจัยที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีในผักผลไม้มากขึ้น เช่น การเกิดบาดแผล การเข้าทำลายเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงการเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การขาดน้ำ หรือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป อาจเร่งการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีได้รวดเร็วกว่าปกติ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538) วิตามินซีใน grape tomato ซึ่งเป็นมะเขือเทศพันธุ์ผลเล็ก 7 สายพันธุ์ เก็บเกี่ยวที่ระยะแตกต่างกัน คือ ระยะที่ 3 (เขียว-เหลือง) ระยะที่ 4 (ชมพู-ส้ม) ระยะที่ 5 (ส้ม-แดง) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่ามะเขือเทศแต่ละสายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีทั้ง 3 ระยะ ไม่มีความแตกต่างกัน (Cantwell et al. 2009) จากการศึกษาของ Lui and Han (2011) พบว่า มะเขือเทศระยะสุกแก่ที่ฉายรังสียูวีบี แล้วเก็บรักษาไว้ภายใต้อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นโดยมะเขือเทศที่ฉายรังสียูวีบี ที่ความเข้มข้น 40 กิโลจูลต่อตารางเมตร มีปริมาณ

วิตามินซีสูงกว่า มะเขือเทศไม่ได้ฉายรังสียูวีบี (ชุดควบคุม) 86 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Cantwell et al. (2009) เก็บรักษามะเขือเทศ grape tomato พันธุ์ merot ในสภาวะบรรยากาศดัดแปร 4 แบบที่สภาวะ % O₂ และ % CO₂ ดังนี้ [3+7], [3+12], [3+18], [10+12] ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ตลอดการเก็บรักษามะเขือเทศพันธุ์ merot ในสภาพดัดแปรบรรยากาศทั้ง 4 แบบสามารถคงคุณค่าวิตามินซีไว้ได้ทุกชุดการทดลอง และการเก็บรักษามะเขือเทศที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการสูญเสียวิตามินได้ (Toor and Savage, 2006) นอกจากนี้ กิติพงษ์ อัครกุล (2549) เก็บรักษามะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อที่ระยะแก่จัด (mature green) ในบรรจุถุงแอคทีฟ รุ่น 15-2 ชื่อทางการค้าคือ FRESHPAC™ กับการปรับสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ที่มี CO₂ 5% O₂ 5% และ N₂ 90% ร่วมกับการใช้เมทิลจัสโมเนต เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถชะลอการสุกของมะเขือเทศได้ดีมากเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และมีปริมาณวิตามินซีสูงสุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการเปลี่ยนแปลงของวิตามินซีของมะเขือเทศลูกท้อนี้ ในระยะแรกของการเก็บรักษาวิตามินซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงที่สุดเมื่อมะเขือเทศเข้าสู่ระยะสุกหลังจากนั้นปริมาณวิตามินซีจึงลดลง และสามารถเก็บได้นานถึง 8 สัปดาห์

2.8 การหายใจ

ผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวจำเป็นต้องหายใจเพื่อการสังเคราะห์พลังงานมาใช้ โดยการนำก๊าซออกซิเจนเข้าไปออกซิไดซ์ (Oxidize) อาหารสะสมภายในผลิตผล พร้อมทั้งปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำพลังงานเคมี และความชื้น โดยทั่วไปการหายใจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration) ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพอากาศปกติ (21% O₂, 0.3% CO₂) และการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำหรือไม่มีเลย อาหารสะสมถูกนำไปใช้ในกระบวนการ glycolysis ได้สาร pyruvate ซึ่งจะถูกละลายไปเป็น acetaldehyde และ ethanol โดยเอนไซม์ carboxylase และ alcohol dehydrogenase ตามลำดับ ซึ่ง acetaldehyde และ ethanol เป็นสารพิษต่อเนื้อเยื่อพืชและมักทำให้ผลิตผลมีกลิ่นผิดปกติ จึงต้องป้องกันไม่ให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ผลผลิตที่มีอัตราการหายใจสูงส่วนใหญ่จะมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผลผลิตที่มีอัตราการหายใจต่ำกว่า (Sandhya, 2010) โดยสามารถแบ่งประเภทของผลผลิตที่มีอัตราการหายใจต่างกันได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อัตราการหายใจของผลผลิตชนิดต่างๆ

Class	Respiration rate at 5°C (mg CO ₂ /Kg.hr.)	Commodities
Very Low	< 5	Nuts
Low	5 to 1	Apple, Citrus, Grape, Kiwifruit, Onion, Potato
Moderate	10 to 20	Apricot, Banana, Cherry, Peach, Carrot, Lettuce, Pepper, Tomato
High	20 to 40	Strawberry, Cauliflower, Lima Bean, Avocado
Very High	40 to 60	Artichoke, Brussels sprouts, Cut Flower
Extremely High	>60	Asparagus, Broccoli, Mushroom, Pea, Spinach

แหล่งที่มา: Kays, (1991); Saltveit, (1996)

จากงานวิจัยของ Hardenburg et al. (1986) ศึกษาอัตราการหายใจของมะเขือเทศ 2 ระยะ คือระยะสุกเขียว (mature green) กับระยะ turning เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส พบว่า มะเขือเทศระยะ Mature-green และ Turning เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจ เท่ากับ 12-18 และ 13-16 mg CO₂/kg.hr ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น และมะเขือเทศระยะ Mature-green และ Turning เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจ เท่ากับ 35-51 และ 30-52 mg CO₂/kg.hr ตามลำดับ และ Islam et al. (2013) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ 5, 11 และ 20 องศาเซลเซียส ต่อการหายใจของมะเขือเทศเชอร์รี่ 2 สายพันธุ์คือ Unicorn และ Madison พบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ทั้งสองสายพันธุ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจสูงสุด โดยมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ Madison มีอัตราการหายใจต่ำกว่าพันธุ์ Unicorn และการเก็บมะเขือเทศเชอร์รี่ทั้งสองสายพันธุ์ไว้ที่อุณหภูมิ 11 และ 5 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการหายใจของมะเขือเทศทั้งสองสายพันธุ์ลดต่ำลงตามลำดับ และมะเขือเทศระยะ Break มีการหายใจน้อยกว่าระยะ Red นอกจากนี้ Martínez-Romeroa et al. (2009) เก็บรักษามะเขือเทศระยะ breaker ในห้องขนาด 120 ลิตร ที่มีเครื่องบรรจุ activated carbon-1% Pd ปริมาณ 70 กรัม และระบบดูดซับเอทิลีนที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่า มะเขือเทศมีอัตราการหายใจน้อยกว่ามะเขือเทศเก็บรักษาแบบไม่มีระบบดูดซับเอทิลีน มะเขือเทศที่เก็บรักษาแบบไม่ใช้ระบบดูดซับเอทิลีน มีการเปลี่ยนแปลงสีค่า a* ปริมาณ ไลโคปีน และ ความอ่อนนุ่มมากกว่ามะเขือเทศเก็บรักษาแบบมีระบบดูดซับเอทิลีน และมะเขือ

เทศที่เก็บรักษาแบบไม่ใช้ระบบดูดซับเอทิลีนมีความเป็นกรด มากกว่ามะเขือเทศที่เก็บรักษาในระบบดูดซับเอทิลีน

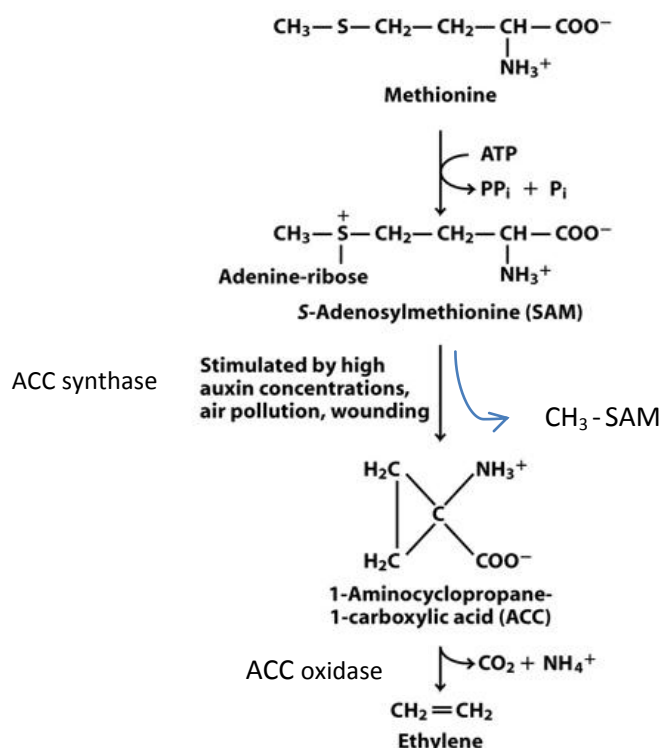
Yapenco et al. (2007) ได้ศึกษารูปแบบการหายใจของมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ Coco ระยะ light-red ที่อุณหภูมิต่างๆ สำหรับการประยุกต์ในการทำ MAP โดยบรรจุมะเขือเทศเชอร์รี่ในถุง PE หนา 30 ไมโครเมตร ขนาดถุง 20×20 เซนติเมตร พบว่าระหว่างการเก็บรักษาไม่เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) ของสมการรูปแบบการหายใจในมะเขือเทศคือ O_2 และ CO_2 เท่ากับ 0.975 และ 0.939 และการเก็บรักษามะเขือเทศปริมาณ 450 กรัมในถุง PE ขนาด 20×20 เซนติเมตร หนา 30 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 5 วัน โดยไม่มีการเข้าทำลายของโรค

Cantos et al. (2001) รายงานว่าการฉายรังสีในผักผลไม้ที่เป็น climacteric ในผลที่ยังไม่สุกจะทำให้อัตราการหายใจลดลง หากนำผลที่สุกแล้วมาฉายรังสีกลับเป็นการกระตุ้นให้อัตราการหายใจสูงขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการผลิตเอทิลีนด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vunnam et al. (2012) ทำการฉายรังสี UV-C แก่มะเขือเทศเชอร์รี่ระยะ mature red ที่ความเข้มข้น 3.7 kJ.m^{-2} แล้วเก็บรักษาในถุงพลาสติกเจาะรู (Ziploc®) เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในถุงที่มีคุณสมบัติเลือกผ่านของก๊าซ (PEAKfresh®) เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า มะเขือเทศเชอร์รี่ที่ฉายรังสีแล้วเก็บรักษาในถุงพลาสติกเจาะรู (Ziploc®) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม พบว่ามีอัตราการหายใจสูงที่สุด ส่วนมะเขือเทศที่ฉายและไม่ฉายรังสีที่เก็บในถุง PEAKfresh® พบว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้ฉายรังสีมีอัตราการหายใจต่ำกว่ามะเขือเทศที่ฉายรังสี ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าการใช้ MAP ช่วยชะลออัตราการหายใจของมะเขือเทศที่ผ่านการฉายรังสีได้ และ Wills et al., (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกของมะเขือเทศ ที่ 20°C พบว่ามะเขือเทศมีการผลิตก๊าซเอทิลีนสูงสุด และมีอัตราการหายใจสูงสุดที่ระยะ Tuning

2.9 การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย สามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย เกิดขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืชชั้นสูง และจุลินทรีย์บางชนิด เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่ควบคุมกระบวนการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายอย่างในผลผลิต โดยที่ปริมาณหรือความเข้มข้นของเอทิลีนที่จะกระตุ้นให้เกิดการสุกนั้น จะมีความแตกต่างกันไปตามอายุของผลิตผล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) วิธีการสังเคราะห์เอทิลีน เริ่มต้นจากกรดอะมิโน Methionine เป็นกรดอะมิโนที่สำคัญในพืช เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เอทิลีน โดยจะถูก

เปลี่ยนเป็น S-adenosyl methionine (SAM) ต่อมา SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น Aminocyclopropane-1-1 carboxylic acid (ACC) จากการทำงานของเอนไซม์ 1-Aminocyclopropane 1-Carboxylic Acid Synthase (ACC synthase) จากนั้น ACC จะถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนในลำดับสุดท้ายโดยเอนไซม์ 1-Carboxylic Acid Oxidase (ACC oxidase) (Kondo et al., 2005; Gross et al., 2004) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีการสังเคราะห์เอทิลีน (Argueso et al. 2007)

เอทิลีนสามารถเร่งการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ในพืชได้ ซึ่งหากปล่อยให้ผักใบเขียวเกิดการสัมผัสกับเอทิลีนจะเป็นผลเสียให้เกิดการชีด่างของสีเขียวหรือเหลือง เช่น บร็อกโคลี (Ku et al., 1999) ผักโขม และผักชีฝรั่ง (Reid, 2002) นอกจากคลอโรฟิลล์แล้วเอทิลีนยังมีผลต่อรงควัตถุอื่นๆ โดยเอทิลีนความเข้มข้นสูงช่วยกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์และสะสม เบต้าแคโรทีน (β -carotene) และไลโคปีนได้ (Watkin, 2006) ดังผลการทดลองของ Opiyo and Ying (2005) พบว่าเอทิลีนทำให้เกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ และเกิดการสะสมของเบต้าแคโรทีน และไลโคปีน ทำให้มะเขือเทศเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง นอกจากนี้เอทิลีนยังสามารถกระตุ้นให้อองุ่นแดงผลิตสารแอนโทไซยานิน (antocyanin) เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย (ชนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล 2548) จากการศึกษาผลของสายพันธุ์และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อการผลิตเอทิลีน พบว่า มะเขือเทศเชอร์รี่สายพันธุ์ Unicorn และ Madison เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ Unicorn มีการผลิตเอทิลีนมากกว่า

มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ Madison และมะเขือเทศระยะ Break มีการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าระยะ Red และระยะ Light-red มีการผลิตเอทิลีนสูงสุดแล้วลดลงในระยะ Red (Islam et al., 2013)

Larrigaudiere et al. (1991) ได้ทดลองฉายรังสีแกมมาในมะเขือเทศเชอร์รี่ระยะสุกเขียวพันธุ์ sweet 100 ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 กิโลเกรย์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่ามะเขือเทศที่ฉายรังสีแกมมา ทั้ง 3 ระดับนั้นมีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นภายใน 24 ชั่วโมงแรก ซึ่งไปสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ ACC synthase การฉายรังสีแกมมากระตุ้นให้มีการส่งสัญญาณไปในส่วนของการแปลรหัสให้มีการสังเคราะห์เอนไซม์ ACC synthase เพิ่มมากขึ้น

2.10 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ

ผลไม้สุกจะมีลักษณะเนื้ออ่อนนุ่มลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน ที่เป็น ส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์โดยอยู่ในส่วนที่เรียกว่า มิดเดิลลามลล่า (middle lamella) ทำหน้าที่ เชื่อมเซลล์ให้ติดกัน สารประกอบเพคตินที่อยู่ในผนังเซลล์ของผลไม้ดิบจะอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน (Protopectin) ซึ่งละลายน้ำไม่ได้ (insoluble pectin) เมื่อผลไม้สุกโปรโตเพคตินจะถูกสลายตัวกลายเป็นเพคตินและกรดเพคตินซึ่งละลายได้ในน้ำ (soluble pectin) โดยอาศัยกระบวนการ depolymerization และ desterification มีเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาการสลายโพลีเมอร์ของโปรโตเพคตินและไฮโดรไลซ์เอาหมู่เมทิลออกจากโมเลกุลของเพคตินได้เป็นกรดเพคติก โครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ทั้งสองส่วนนี้จัดเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์ เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยไซโลกลูแคนส์ (Xyloglucans) ซึ่งจะต่อกับเซลลูโลสโดยแขนไฮโดรเจน เพคตินนั้นประกอบด้วย Rhamnogalacturonans ซึ่งเชื่อมอยู่กับ Cellulose-hemicellulose complex โดย Neutral Homogalacturonans อาราบิแนนส์ (Arabinans) และ กาแลคแตน (Galactan) ส่วนประกอบของผนังเซลล์ ปฐมภูมิจะมีโปรตีนอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า Extensin ซึ่งเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วย Hydroxyproline ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมเพคตินเข้าด้วยกัน (เว็บไซต์สารสนเทศคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557)

Cantwell et al. (2009) เก็บมะเขือเทศลูกเล็กพันธุ์ Amsterdam ที่ระยะเริ่มเหลือง turning yellowish บรรจุ ก่อพลาสติก clamshells ที่ อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 5, 10, 15 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความแน่นเนื้อ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยมะเขือเทศพันธุ์ลูกเล็กที่เก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสในวัน สุกท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 12) ที่ค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด แต่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีค่า ความแน่นเนื้อมากที่สุด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความแน่นเนื้อของมะเขือเทศพันธุ์เล็ก 7 สายพันธุ์ พบว่า

สายพันธุ์ Amsterdam, TC1260 และ TC900 มีค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงสุด ที่ระยะ Pink orange หลังจากนั้นมียาลดลงที่ระยะ Orange-red ส่วนสายพันธุ์ Ahen 299, Harris LI-34, Hazera 1319 และ Rotterdam มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะ Orange-red

จากการศึกษาของ Liu และ Han (2011) พบว่า มะเขือเทศระยะสุกแก่ที่ฉายรังสียูวีบี แล้วเก็บรักษาไว้ภายใต้อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศที่ฉายรังสียูวีบี มีค่ามากกว่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศไม่ได้ฉายรังสียูวีบี (ชุดควบคุม) 32 เปอร์เซ็นต์

Vunnam et al. (2012) เก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ระยะสุกแดง โดยทำการทดลองเป็นชุดดังนี้ มะเขือเทศเชอร์รี่ไม่ฉายรังสี UV-C ที่บรรจุถุงที่มีรู Ziploc® (ชุดควบคุม) มะเขือเทศเชอร์รี่ฉายรังสี UV-C 3.7 kJ.m⁻² บรรจุถุงที่มีรู Ziploc® มะเขือเทศเชอร์รี่เก็บรักษาในถุงแอกทิฟ PEAKfresh® และมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ฉายรังสี UV-C แล้วเก็บรักษาในถุงแอกทิฟ PEAKfresh® เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ฉายรังสี UV-C แล้วเก็บรักษาในถุงแอกทิฟ PEAKfresh® มีความแน่นเนื้อสูงสุด มะเขือเทศไม่ฉายรังสี UV-C เก็บรักษาในแอกทิฟ PEAKfresh® มีความแน่นเนื้อรองลงมา รองลงมาคือมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ฉายรังสี UV-C แล้วไม่บรรจุถุงแอกทิฟมีความแน่นเนื้อมากกว่าชุดควบคุมแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

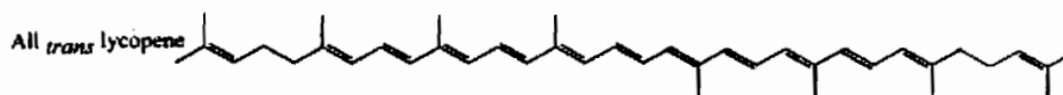
Vinha et al. (2014) รายงานว่ามะเขือเทศปลูกแบบอินทรีย์และแบบเคมี มีเปอร์เซ็นต์ Moisture ซึ่งมีผลต่อความแน่นเนื้อไม่มีความแตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ Thybo et al. (2006) ทดลองปลูกมะเขือเทศแบบอินทรีย์โดยใช้เทคนิคต่างกัน 3 เทคนิค คือหนึ่งปลูกแบบใช้ทรายธรรมชาติ สองปลูกในแปลงปุ๋ยคอกที่เตรียมไว้ และแบบที่สาม คือปลูกในถุงที่มีรูเพื่อให้รากมะเขือเทศสามารถเจาะผ่านไปหาธาตุอาหารในดินปุ๋ยคอก พบว่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศทั้งสามเทคนิคไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่การเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของมะเขือเทศจากฟาร์มต่างๆ คือ ฟาร์ม Harris, O' Neill, Terranova Ranch และ D.A. Rominger & Sons พบว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบเคมีมีความแน่นเนื้อมากกว่ามะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์ (Barrett et al., 2007)

2.11 การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุหรือสีของผลิตผล เป็นไปทั้งลักษณะที่พึงประสงค์และไม่พึงประสงค์ เช่น การสูญเสียสีเขียวของคลอโรฟิลล์ เป็นลักษณะพึงประสงค์สำหรับการสุกของกล้วยและมะม่วง แต่ไม่เป็นที่พึงประสงค์สำหรับมะนาวและผักส่วนใหญ่ การปรากฏสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ เกิดขึ้นเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง โดยทั่วไปปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นและเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของแครอท มะละกอสุก มะม่วงสุก แต่เป็นลักษณะไม่พึงประสงค์ในผักต่างๆ สำหรับมะเขือเทศ มีการสร้างไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นในระยะที่แก่จัด (ปรรัตน์ สุขมิตรโยธิน, 2556) การเปลี่ยนแปลงสีสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ตั้งแต่ระยะสุกเขียว mature-green จนกระทั่งระยะสุกแดง red-ripe ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีสัมพันธ์กันของการสูญเสียสีเขียวของคลอโรฟิลล์ และการสร้างไลโคปีน (Cantwell et al. 2009) ปริมาณไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน ของมะเขือเทศที่ระยะสุกเขียว มีค่าเท่ากับ 0.0 และมีค่าประมาณ 48 และ 4.3 $\mu\text{g/g}$ เมื่อระยะสุกตามลำดับ โดยเม็ดสีแคโรทีนอยด์ถูกสังเคราะห์ ในคลอโรพลาสต์ และคลอโมพลาสต์ ของเซลล์พืชโดยทาง isoprenoid pathway คือ การที่ isoprene 8 หน่วยทำปฏิกิริยาจนได้เป็น lycopene ซึ่งเมื่อมีเกิดปฏิกิริยาการเติมจนได้ แคโรทีน (Heuvelink, 2005)

โครงสร้างของไลโคปีน

ไลโคปีน เป็นแคโรทีนอยด์ที่ให้สีแดง มีการกระจายตัวอยู่ในพืช ผักและผลไม้ นอกจากนี้ยังจะพบแคโรทีนอยด์ได้ในสาหร่าย แบคทีเรีย รา และในสัตว์ จากการค้นคว้าเกี่ยวกับแคโรทีนอยด์ พบว่ามีแคโรทีนอยด์มากกว่า 600 ชนิด (ทั้งในรูป cis และ trans) สำหรับในมะเขือเทศพบว่ามีแคโรทีนอยด์มากกว่า 20 ชนิด แคโรทีนอยด์ที่ให้สีจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน (ประกอบไปด้วยไลโคปีน) และ ออกซิเจนแซนโทฟิลล์ (ชัยญาพร อุทัยจิตร และ ภัทธา ปกรณ์สมบูรณ์, 2547) ในส่วนโครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ มีสูตรโครงสร้างทางเคมีมาจาก acyclic $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน (Trombly และ Porter, 1953; Kargl et al., 1960)

ไลโคปีนในมะเขือเทศ

ไลโคปีนในมะเขือเทศเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ในมะเขือเทศสุกโดยจะมีอยู่ถึง 80-90% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด สำหรับแคโรทีนอยด์อื่นๆ ที่มีในมะเขือเทศ ได้แก่ α -carotene, β -carotene, lutein และ β -cryptoxanthin ซึ่งแคโรทีนอยด์เหล่านี้จะมีอยู่ในปริมาณที่ไม่มากนัก (John Shi et al. 2000) ไลโคปีนพบอยู่ใน chromoplasts ของเนื้อเยื่อ เมื่อมะเขือเทศสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแคโรทีนอยด์ในรูปสุดท้ายคือ ไลโคปีน โดยกระบวนการนี้จะเกิดหลังจากมีการเก็บรักษามะเขือเทศเอาไว้ในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยานี้เอง chloroplasts ก็จะเปลี่ยนแปลงไปเป็น chromoplasts นั้นเอง (Kirk และ Tilney-Bassett, 1987) โดย chromoplasts จะมีปริมาณไลโคปีนที่มากกว่าบริเวณของส่วนที่หุ้มรังไข่ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า LHCs (light heaping complexes) ซึ่งที่ระดับ cellular ไลโคปีนจะละลายตัวอยู่ใน chloroplasts ของมะเขือเทศและจะสามารถพบได้บริเวณ thylakoid membrane เมื่อเกิด photosynthetic pigment protein complex และในลำดับสุดท้าย chromoplasts จะพัฒนาไปเป็นไลโคปีนที่มีรูปทรงเป็นผลึก (ชัยญาพร อุโฬจิตร และ ภัทธา ปกรณ์สมบูรณ์, 2547)

2.12 บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

การใช้เทคโนโลยีการบรรจุจะช่วยลดการสูญเสีย ยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าของผลิตผลสด ปัจจุบันการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere Packaging, MAP) มีการศึกษาเพื่อใช้ในการเก็บรักษาผลิตผลสดอย่างแพร่หลาย (ชนิด วานิกานุกูล และคณะ, 2550) เนื่องจากสามารถลดอัตราการหายใจ ลดการผลิตเอทิลีน ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชะลอการเสื่อมเสีย ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Kader, 2002) การสร้างสภาวะบรรยากาศภายในให้มีสัดส่วนเหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลขึ้นอยู่กับ สภาพให้ซึมผ่านได้ (permeability) ของฟิล์ม อัตราการหายใจของผลิตผลและสภาพแวดล้อมภายนอก (Fonseca et al., 2002) สภาวะบรรยากาศดัดแปลงเกิดขึ้นจากการเลือกใช้ฟิล์มที่มีค่า permeability เหมาะสมกับอัตราการหายใจของผลิตผล (Mir and Beaudry, 2001) ชนิด วานิกานุกูล และคณะ (2550) รายงานว่าผลมะม่วงที่บรรจุในภาชนะที่มีการซึมผ่านของแก๊สสูงสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (EMA) ช่วยชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าการใช้ภาชนะบรรจุ LDPE และการห่อหุ้มด้วยตาข่ายอย่างเดียว ยังสามารถชะลอการเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าการห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีเอทิลีนอย่างเดียว

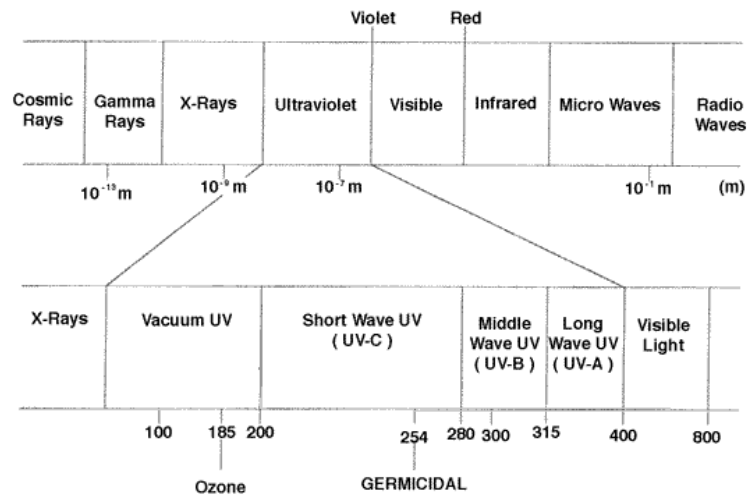
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับผลผลิตการเกษตรหลายๆชนิด โดยมีผลทำให้เกิดการชะลอการหายใจ การคายน้ำและการสุก ทำให้กระบวนการเสื่อมสภาพ

ทางชีวภาพต่างๆ ของพืชลดลง ด้วยการตัดแปลงบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์จะช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุผักและผลไม้สดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้ส่งออกผักและผลไม้สดสามารถรักษาความสดของผลิตผลได้ตลอดทั้งกระบวนการขนส่ง อีกทั้งยังสามารถลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของสินค้าผักและผลไม้สดที่วางจำหน่ายและจัดเก็บลงได้ อีกทั้งบรรจุภัณฑ์แอคทีฟยังสามารถใช้เป็นจุดขายของสินค้าในด้านความสะอาดได้อีกด้วย เนื่องจากผู้จำหน่ายสามารถปิดผนึกถุงได้สนิทจากสถานที่บรรจุ ทำให้สามารถป้องกันการผ่านของเชื้อโรคไปสู่ผักและผลไม้สดในระหว่างการขนส่งและวางจำหน่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เอกสารเผยแพร่ของศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ)

จากการทดสอบของศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ พบว่าการเก็บรักษาผักคะน้าในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟประเภท high oxygen transmission rate (OTR) ที่ปิดผนึก (sealed) หัวท้ายและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-7 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 22 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิด PE ที่มีการเจาะรู สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 6 วัน และการเก็บรักษาพริกขี้หนูในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟประเภท high OTR ที่ปิดผนึก (sealed) หัวท้ายและเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ พบว่าสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 22 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิด PE ที่มีการเจาะรู สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 6 วัน การเก็บรักษาโหระพา ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟประเภทเดียวกันนี้ที่อุณหภูมิ 10-12 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 12 วัน ในขณะที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิด PE ที่มีการเจาะรู สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 6 วัน ส่วนการเก็บกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสนั้น สามารถเก็บได้นาน 25 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิด PE ที่ไม่มีการเจาะรู สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 5 วัน (เอกสารเผยแพร่ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ) เมื่อนำฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ที่พัฒนาขึ้นมาบรรจุผักซึ่งจะสามารถรักษาความเขียวของผักซีได้นาน 8 วัน ที่ 7 องศาเซลเซียส และถุงพีพีที่มีช่องหน้าต่างเป็นฟิล์มกำจัดก๊าซเอทิลีนเมื่อนำมาบรรจุมะเขือเทศจะสามารถชะลอการสุกได้นาน 7-8 วันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2553)

2.13 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV)

รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiations) เป็นพลังงานรูปหนึ่งในลักษณะอนุภาคโฟตอน (photon) ประกอบด้วยคลื่นที่มีความยาวระดับต่าง ๆ ตั้งแต่คลื่นกระแสไฟฟ้า คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ คลื่นอินฟราเรด แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 Electromagnetic spectrum (เนตรนภิส วัฒนสุชาติ, 2546)

คลื่นรังสียูวี สามารถแบ่งได้ตามระดับความยาวคลื่นเป็น 3 ชนิดคือ UV-A (315-400 นาโนเมตร) UV-B (280-315นาโนเมตร) และ UV-C (100-280นาโนเมตร) ปริมาณคลื่นรังสี UV นิยมแสดงค่าเป็น 2 แบบ คือ ความเข้มคลื่นรังสี (Irradiance หรือ intensity Watts W/cm^2 และขนาดคลื่นรังสีที่ได้รับ (exposure dose, J/cm^2) คัดได้จาก radiant energy (Joules, J) หรือ ความเข้มคลื่นรังสี (Watts) คูณระยะเวลาที่ได้รับรังสีเป็น วินาที (exposed time in seconds) ทารด้วยพื้นที่เป็นตารางเซนติเมตร

Kaewsuksaeng et al. (2011) ศึกษาผลของการฉายรังสียูวีบีกับมะนาวตาฮิติพบว่าการฉายรังสียูวีบีที่ 8.8 กิโลจูลต่อตารางเมตร สามารถรักษาคุณภาพของมะนาวได้โดยการชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในการบริโภค Barka et al. (2000) ศึกษาผลของรังสี UV-C ต่อ เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในมะเขือเทศ พบว่ารังสี UV-C สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ Polygalacturonase, Pectin methylesterase, Cellulase β -Galactocidase, Xylanase และ Protease โดย ปริมาณเข้มของรังสี UV-C ที่เหมาะสมคือ $3.7 kJ.m^{-2}$ นอกจากนี้รังสี UV-C ยังสามารถรักษาความแน่น เนื้อของมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยวได้อีกด้วย และ Costa et al. (2002) รายงานว่าการใช้รังสียูวีบีสามารถ กระตุ้นระบบการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนของทานตะวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งยูวีบีมีผลต่อการกระตุ้น กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นจึงทำให้ทนทานต่อ oxidative stress ซึ่งอาจส่งผลให้ทนต่ออุณหภูมิต่ำได้ ในปี 2011 Lui และคณะทำการทดลองฉายรังสียูวีบีในมะเขือเทศ พันธุ์ Zhenfen 202 ระยะสุกเขียว ที่ปริมาณต่างๆกัน คือ 10, 20, 40 และ $80 kJ.m^{-2}$ และเก็บในที่มืด อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 37 วัน พบว่าที่ปริมาณ 20 และ $40 kJ.m^{-2}$ สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดี และชะลอการเปลี่ยนแปลงสี นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟีนอล และ ฟลาโวนอยด์ เพิ่มขึ้น และที่ความเข้มชั้นที่ $80 kJ.m^{-2}$ มีปริมาณไลโคปีนมาก แต่เนื้อสัมผัสนุ่มและ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระพบน้อยกว่าปริมาณรังสีอื่นๆ และในปี 2013 Antonella และคณะ ทำการฉาย

รังสียูวีบี กับผลมะเขือเทศที่ระยะสุกเขียว mature green กับระยะ turning ทุกวันวันละ 1 ชั่วโมง ที่ความเข้มขึ้น 6.08 kJ.m^{-2} จนมะเขือเทศสุกแดง พบว่า สายพันธุ์ของ Money maker มีปริมาณความเข้มขึ้นของกรดแอสคอบิก และแคโรทีนอยด์ เพิ่มขึ้น และค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าชุดที่ไม่ฉายรังสี แต่กลับพบว่ามีความแน่นเนื้อน้อยลง นอกจากนี้ การใช้รังสี UV-B พบว่าสามารถชะลอการเป็นสีเหลืองในบด็อกโคลีระหว่างการเก็บรักษา (Aiamla-or et al., 2009, 2010) และพบว่าเมื่อฉายรังสี UV-B ในองุ่นมีผลให้สารฟีนอลลิกเพิ่มขึ้น Cantos et al. (2000) ฉายรังสี UV-B กับเห็ดฟางพบว่าปริมาณวิตามิน D เพิ่มขึ้น (Urbain et al., 2011) และการฉายรังสี UV-B ในแอปเปิ้ล ทำให้มีสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น Hagen et al. (2007)