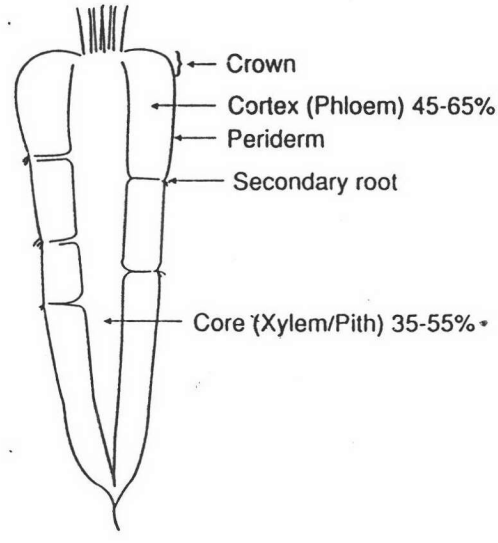
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

แครอต (Carrot)

ชื่อวิทยาศาสตร์คือ Duacus carota var satirus อยู่ในตระกูล Umbelliferae (parsley) เป็นพืชสองฤดู (biennial) แครอตมีถิ่นกำเนิดในเอเชียกลาง (middle Asia) และอเมริกาเหนือ เป็นพืชผักที่นิยมรับประทานมาก เนื่องจากที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นแหล่ง carotenoid ที่สำคัญ โดยมี β-carotene เป็นรงควัตถุหลักที่ให้สีในแครอต มีปริมาณ 85 - 90 % ของ total carotenoid (Luh,1975)

ลักษณะ แครอตเป็นพืชที่มีลักษณะคล้ายผักชี แต่มีรากใหญ่กว่ามาก ลำต้นของแครอตอยู่เหนือพื้นดินเล็กน้อย เป็นลำต้นสั้นมาก มีใบแตกออกจากรอบๆ ลำต้น รากมีขนาดใหญ่สีส้ม ขนาดรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์ รากแครอตมีรูปแบบการเจริญของเนื้อเยื่อจากภายนอกเข้าไปภายใน แบ่งเนื้อเยื่อได้สี่ส่วนคือ periderm, cortex และ phloem , cambium และ core แสดงด้วยรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของแครอต

แครอตที่มีคุณภาพสูงต้องมีสัดส่วนของ cortex และ phloem มากกว่า ส่วน pith เพราะรสหวานของแครอตเกิดจากคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้นสูงในส่วนของ cortex และ phloem (Nonnecke,1989) คุณค่าทางอาหารแสดงในตารางที่ 2.1

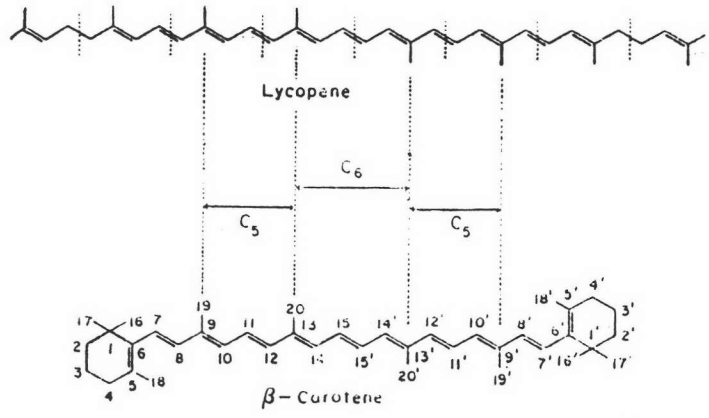
ตารางที่ 2.1 ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินในแครอตส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม (Nonnecke,1989)

Ca (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Na (mg)	K (mg)	Vit A (I.U)	Thiamine (mg)	Riboflavin (mg)	Niacin (mg)	Ascorbic Acid (mg)
37.0	36.0	0.7	47.0	341.0	11,000	0.06	0.05	0.6	8.0

ความสำคัญของแคโรทีนอยด์ (carotenoid)

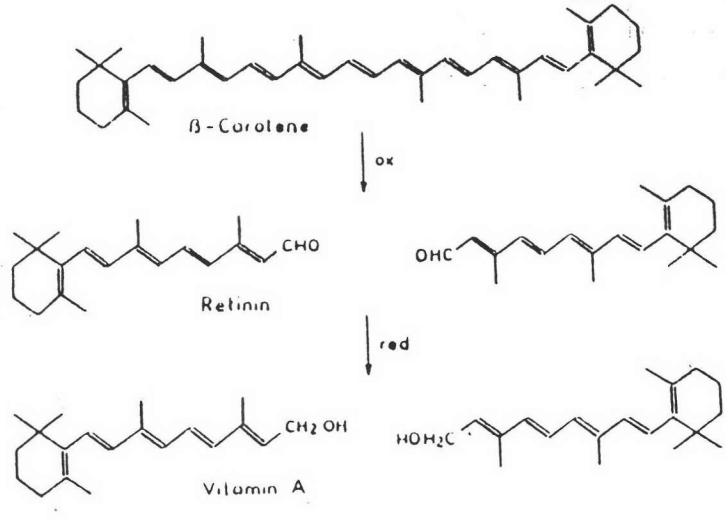
แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุสีเหลืองและแดง ซึ่งส่วนใหญ่ละลายได้ในไขมัน พบทั่วไปในผลิตผลของพืชและสัตว์ รงควัตถุนี้เกิดในธรรมชาติและมีปริมาณมาก แคโรทีนอยด์ที่มีมากที่สุด คือ fucoxanthin ในสาหร่ายหลายชนิด และแคโรทีนอยด์อีก 3 ตัวในพืชสีเขียวคือ lutein, vioaxanthin และ neoxanthin ส่วนแคโรทีนอยด์อื่นๆ ที่มีปริมาณน้อยกว่าแต่เกิดอยู่ทั่วไป ได้แก่ β- carotene และ zeaxanthin รงควัตถุอื่นๆ เช่น lycopene พบในมะเขือเทศ, capsanthin ในพริกแดงและบิกซิน (bixin) ในต้นชาด (annatto) แคโรทีนอยด์สามารถอยู่ในรูปอิสระในเนื้อเยื่อของพืชได้หลายรูปแบบ เช่น เป็นผลึก ของแข็งอสัณฐาน เป็นสารละลายในลิปิด เป็นเอสเทอร์ (ester) กับกรดไขมัน หรือรวมกับน้ำตาลหรือโปรตีน (Fennema, 1975)

โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เรียกว่า carotene และอนุพันธ์ออกซิเจน เรียกว่า xanthophylls มีแคโรทีนอยด์จำนวนมาก ประกอบไปด้วย หน่วย isopene 8 หน่วย แต่ละหน่วย isopene ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 5 ตัว โมเลกุลบางตัวของแคโรทีนอยด์มีความสมมาตร เช่น β- carotene และ lycopene ดังรูปที่ 2.2 สีที่ปรากฏของแคโรทีนอยด์ เป็นผลมาจากพันธะคู่ที่ยึดกัน (conjugated double bond) ในโมเลกุล เมื่อจำนวนพันธะคู่เพิ่มมากขึ้น แถบการดูดกลืนหลักจะย้ายไปทางย่านความยาวคลื่นมากขึ้น เป็นผลให้เห็นเป็นสีแดงมากขึ้น ซึ่งหากปรากฏเป็นสีเหลือง ต้องมีพันธะคู่อย่างน้อยเจ็ดแห่ง แต่ละพันธะคู่จะมีการจัดเรียง configuration ทั้งแบบ cis หรือ trans ซึ่งโดยทั่วไปแคโรทีนอยด์ในอาหารมักอยู่ในรูป all-trans (De Man, 1990)



รูปที่ 2.2 ความสมมาตรของโมเลกุล lycopene และ β- carotene

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจาก β-carotene เป็น precusor ของ vitamin A β- carotene 1 โมเลกุลจะให้ vitamin A 2 โมเลกุล ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังรูปที่ 2.3 ส่วน ∝- carotene มีโครงสร้างครึ่งหนึ่งเหมือนกับ β- carotene จะให้ vitamin A หนึ่งโมเลกุล ส่วน lycopene ไม่มี vitamin A activity (Fennema, 1975)



รูปที่ 2.3 การเกิด retinin และ vitamin A จาก β- carotene

จากโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลหลายพันธะ ทำให้การเสื่อมสภาพของแคโรทีนอยด์ที่สำคัญเกิดจากปฏิกิริยา oxidation ในเนื้อเยื่อที่มีชีวิต ความคงตัวของแคโรทีนอยด์ ขึ้นอยู่กับ cell permeability และสารที่ป้องกันการเสื่อมสภาพ เช่น รงควัตถุ lycopene ในมะเขือเทศ จะคงตัวอย่างมาก แต่เมื่อสกัดออกมาเป็นรงควัตถุบริสุทธิ์จะไม่มีความคงตัวเลย นอกจากนี้ระบบเอนไซม์ในเนื้อเยื่อ ยังมีผลทำให้แคโรนอยด์เสื่อมลงอย่างรวดเร็ว เช่น เอมไซม์ lipoxygenase สำหรับในอาหารแปรรูป กลไกของปฏิกิริยา oxidation นี้ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยรงควัตถุจะเกิด autooxidize กับออกซิเจนในอากาศ มีอัตราขึ้นอยู่กับแสง, ความร้อน, pro-oxidant และ antioxidant ดังนั้นในการแปรรูปและเก็บรักษามักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสูญเสียสมบัติดั้งเดิม ในแครอต แคโรนอยด์อยู่ใน chromoplast และในบางเซลมีแป้งและเม็ดแป้งเกิดอยู่รอบ ๆ ผลึก carotene และอาจมีเม็ดไขมันเล็กๆ อยู่ด้วย เมื่อเซลถูกทำลายด้วยความร้อนจากการลวก การทำแห้ง หรือสารเคมี chromoplast เกิดเสียหาย carotene จะออกมาละลายอยู่ในเม็ดไขมันเล็ก ๆ และเม็ดไขมันนี้จะแยกตัวออกมาสู่ protoplasm (Fennema, 1975; Meyer, 1978)

<u>งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>

Rahman, Henning และ Westcott (1971) พบว่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งเป็นปัจจัยวิกฤติมากที่สุดที่มีผลต่อโครงสร้างของเซลแครอต โดยพบว่าแครอตที่แช่เยือกแข็งที่ -320°F ด้วยวิธี liquid nitrogen immersion จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็งกว่ารวมทั้งมีค่า water holding capacity สูงกว่าการแช่เยือกที่ 0°F หรือ -30°F ด้วยวิธี blast freezing

Pala (1982-4) ได้ศึกษาถึงผลของวิธีการลวกแบบต่างๆ ต่อคุณภาพของแครอตลูกเต๋าแช่เยือกแข็งพบว่า วิธีการลวกมีผลมากที่สุดต่อลักษณะเนื้อสัมผัส โดยปริมาณ dry matter จะลดลงอย่างมากถึง 29 % ในการลวกด้วยน้ำ (water blanching) และในตัวอย่างที่ผ่านการลวกแบบต่างๆ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ได้ลดลง 0.4 ถึง 2.9 % และปริมาณ ascorbic acid คงเหลือ 74 เปอร์เซนต์ และ 81 เปอร์เซนต์ จากปริมาณเริ่มต้นในตัวอย่างที่ผ่านการลวกโดยใช้น้ำ หรือไอน้ำตามลำดับ

Wu และคณะ (1987) ได้ศึกษาการแช่เยือกแข็งแครอตลูกเต๋าขนาด 1 cm^3 โดยผ่านการลวกด้วยไอน้ำนาน 1-5 นาที และนำมาแช่เยือกแข็งด้วย blast freezer ที่ -60°C พบว่า peroxidase, catalase และ pectinesterase สามารถถูกยับยั้งได้มากกว่า 97 เปอร์เซนต์ หลังจากผ่านการลวก 1 นาที ความแน่นเนื้อของแครอตจะลดลงอย่างสังเกตได้หลังจากผ่านการลวก และยิ่งลดลงมากขึ้น

หลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง และได้ใช้ scanning electron microscopy สังเกตการเปลี่ยนแปลงใน cell wall พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนใน cell wall เนื่องจากผลของการลวกและการแช่เยือกแข็ง และผลการทดลองชี้ว่า เวลาการลวก 2 นาที เพียงพอที่จะรักษาคุณภาพ ทางด้านรสชาติได้มากที่สุดและเกิดการสูญเสียของเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด

Park (1987) ได้ศึกษาถึงผลของการแช่เยือกแข็ง การละลายน้ำแข็ง cooking และ drying ต่อแคโรทีนในแครอต บรอคโคลี และ spinach พบว่า ปริมาณแคโรทีนในตัวอย่างสด, ผ่านการแห้งในสภาพสุญญากาศ และผ่านการทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ ในแครอตมีค่า 989, 459, 368 ไมโครกรัมต่อกรัม ในบรอคโคลีมีค่า 106, 43, 40 ไมโครกรัมต่อกรัม และใน spinach มีค่า 455, 325, 314 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาหลังจากการละลายน้ำแข็งแล้วมีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนลดลงด้วย

Fuchigami, Hyakumoto และ Miyazaki (1995) พบว่า แครอตแผ่นกลมที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว (-5°C/นาที)) ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (-0.25 ถึง-0.5 °C/นาที) และแบบโปรแกรม (อัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า+เร็ว+ช้า) และพบว่าเมื่ออัตราการแช่เยือกแข็งลดลง drip loss จะเพิ่มขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกับโครงสร้างแครอต เห็นได้จากการศึกษา cryo-scanning electron microscopy

<u>บรอคโคลี</u> (Broccoli)

มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Brassica oleracea var italica เป็นพืชล้มลุกในตระกูล Cruciferae (mustard) (Nonnecke,1989) มีลักษณะตรงปลายลำต้นและตามก้านจะมีตุ่มดอกสีเขียวขึ้นเกาะกลุ่มอย่างหนาแน่น ใช้รับประทานเมื่ออายุอ่อน คือก่อนที่ตุ่มดอกสีเขียวจะเปิด (Gross,1991) บรอคโคลีเป็นผักที่มีอัตราการหายใจสูง หลังการเก็บเกี่ยวจึงจำเป็นต้องทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว หากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพียงระยะเวลาสั้น ตุ่มดอกสีเขียวจะบานออกปรากฏสีเหลืองขึ้น (Luh,1975) บรอคโคลีที่สดใหม่และมีคุณภาพดีควรมีสีเขียวเข้ม (dark green) มีก้านและกลุ่มดอกขึ้นอย่างแน่นหนา

สีเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญมากที่สุดที่บ่งบอกถึงความสดของบรอคโคลี (Shewfelt,Batal และ Heaton ,1983) การเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในบรอคโคลี แสดงคุณภาพของมันเริ่มลดลงเนื่องจากการสูญเสียคลอโรฟิลล์ การรักษาคุณภาพความสดของบรอคโคลีทำได้โดยการคงรักษา ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีในบรอคโคลีไว้ หรือการลดหรือยับยั้งอัตราการหายใจและชลอการผลิตเอทธิลิน

(ethylene) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเริ่มต้นในบรอคโคลีมีปริมาณที่แตกต่างกันแล้วแต่ตำแหน่ง เช่น ตุ่มดอก (buds) ลำต้น (stems) และใบ (leaves) จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังขึ้นกับพันธุ์ และการปลูกด้วย (Gross,1991) คุณค่าทางอาหารของบรอคโคลี แสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินในบรอคโคลีส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม (Nonnecke, 1989)

	Ca	P	Fe	Na	K	Vit A	Thia-mine	Ribofla-vin	Niacin	Ascor-bic Acid
	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(I.U)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
Raw	25	56	1.1	13	295	60	.11	.10	.7	78
Cook boiled drained	21	42	.7	9	206	60	.09	.08	.6	55
Frozen boiled drained	17	38	.5	10	207	30	.04	.05	.4	41

การลวก (blanching)

การลวกเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตผักแช่เยือกแข็งให้มีคุณภาพสูง ในกระบวนการแช่เยือกแข็งผัก มักนำผักมาผ่านขั้นตอนการลวกก่อนนำเข้าสู่การแช่เยือกแข็ง เพื่อยับยั้งเอนไซม์อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดรสชาติไม่ดี (off flavour) ในช่วงการเก็บรักษาผักแช่เยือกแข็ง (Halpin และ Lee, 1987)

เอนไซม์ที่ถูกพิจารณาว่ามีความสำคัญต่อการลวก และใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการลวก คือ peroxidase, catalase และ lipoxygenase ในกระบวนการแปรรูปผัก การยับยั้ง peroxidase เป็นสิ่งที่ใช้กันมากที่สุด (Mallett,1993) เพราะการตรวจสอบทำได้ง่ายและเป็นตัวที่ทนความร้อนมากที่สุด ถ้าหลังจากการลวกแล้วหากตรวจสอบ ไม่พบ peroxidase แสดงถึงว่าเอนไซม์

ตัวอื่นถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน (Halpin และ Lee,1987) peroxidase เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม oxidoreductase การทดสอบปฏิกิริยาสามารถเลือกใช้ substrate ได้หลายชนิด (Burnette, 1977) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 Substrate ที่ใช้ในปฏิกิริยา peroxidase-H_2O_2

Substrate	Product
Pyrogallol	Purpurogallin
Guaiacol	Tetraquaiacoguinone
Hydroquinone	Quinhydorne
Benzidine	p-Quinone di-imide
o-Phenylene diamine	Phenazine
Leucomalachite green	Malachite green
Catechol	o-Quinone
p-Cresol	Milky precipitate
o-Cresol	Green solution
m-Cresol	Fresh-colored solution
Tyrosine	Yellow solution
Adrenaline	Reddish solution
Bilirubin	Biliverdin

ถึงแม้ว่าผักส่วนใหญ่ จำเป็นต้องลวกก่อนนำเข้าแช่เยือกแข็ง แต่ก็มีผักบางชนิดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า-18°C ไม่จำเป็นต้องลวกก่อน ได้แก่ bell peppers, แตงกวา (cucumbers), leeks , herb, jerusalem artichokes,หอมหัวใหญ่ (onions),swedes, turnip,red and green pepper, มะเขือเทศ (tomatoes),กะหล่ำปลี(cabbage), diced celery, parsley (Fuchigami, และคณะ, 1994)

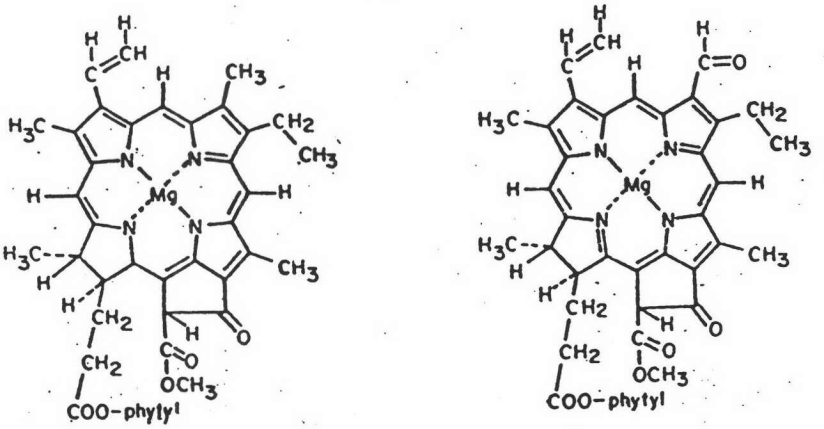
ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการลวก คือชนิดของผัก, ขนาดชิ้นอาหาร, อุณหภูมิการลวกและวิธีการให้ความร้อน ในการผลิตอาหารทางอุตสาหกรรม การลวกต้องคำนึงถึงวิธีการลวก และรูปแบบอุปกรณ์ วิธีการลวกที่ใช้ในทางการค้ามากที่สุด คือ ผ่านอาหารลงไปในน้ำหรือไอน้ำ

เครื่องลวก (blancher) ได้มีการพัฒนามาตลอด เพื่อลดการใช้พลังงาน , ลดการสูญเสียสารอาหารที่ละลายออกมากับน้ำ , ลดปริมาณน้ำทิ้งและเพิ่ม yield ของผลิตภัณฑ์

yield ของอาหารที่ได้หลังจากการลวกเป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุด (Carroad, Swartz และ Bomben,1980) ในบางวิธีการทำให้เย็น(cooling) หลังจากการลวกอาจเป็นผลให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์หรือสารอาหารสูญเสียได้มากกว่าขั้นตอนในการลวก ดังนั้นในการเปรียบเทียบวิธีที่ใช้ต้องให้ความสำคัญทั้งวิธีการลวกและการทำให้เย็น เช่นการลวกด้วยไอน้ำเป็นผลให้สารอาหารคงอยู่ได้สูง การทำให้เย็นด้วยน้ำที่มีการเคลื่อนที่ ทำให้สารอาหารในผลิตภัณฑ์ถูกชะออกได้มาก แต่อาหารจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น การทำให้เย็นลงด้วยอากาศเป็นเหตุให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการระเหย แต่ก็มีข้อดีคือ รักษาสารอาหารไว้ได้ดี (Bomben และคณะ,1975)

<u>การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในกระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาผัก</u>

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่มีความสำคัญมากในพืชชั้นสูง พืชสีเขียวทั้งหมด จะมีคลอโรฟิลล์ a และ b บรรจุอยู่ในพลาสติด (plastid) เรียกว่า คลอโรพลาสต์ (chloroplast) พืชชั้นสูงอัตราส่วนคลอโรฟิลล์ a:b มักเป็น 3:1 แต่ก็แปรตามสภาพการเจริญเติบโตและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม โครงสร้างคลอโรฟิลล์จัดอยู่ในกลุ่มรงควัตถุที่เรียกว่า porphyrin ประกอบด้วย วงแหวน tetrapyrrole มี Mg^{2+} อยู่ตรงกลางในโมเลกุล เกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ แบนราบ คลอโรฟิลล์มีหลายประเภท แต่ที่เกี่ยวข้องกับอาหารมีอยู่ 2 ตัว คือคลอโรฟิลล์ a และคลอโรฟิลล์ b (Gross, 1991) แสดงดังรูปที่ 2.4



คลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ b

<u>รูปที่ 2.4</u> โครงสร้างคลอโรฟิลล์ a และ b

คลอโรฟิลล์สามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีได้หลายอนุพันธ์ เมื่ออยู่ในกรดอ่อน แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจน เกิดเป็น pheophytin a และ b ปฏิกิริยานี้เกิดได้อย่างรวดเร็วในสารละลายกรด แต่แทบไม่เกิดในสารละลายที่มี pH 8 หรือมากกว่า หากคลอโรฟิลล์ถูกไฮโดรไลซ์ ด้วยเอนไซม์ chlorophyllase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ตามปกติในเนื้อเยื่อพืชสีเขียว โดยเฉพาะมีมากในใบ คลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็น chlorophyllide นอกจากนี้ คลอโรฟิลล์เมื่ออยู่ในกรดแก่เข้มข้น เช่น HCl 30% หรือ มีการเติมกรดลงใน chlorophyllide ทำให้โครงสร้างเกิดการสูญเสียแมกนีเซียม เกิดเป็น Pheophobides a และ b และหากคลอโรฟิลล์สูญเสียหมู่คาร์โบเมธิล (-$COOCH_3$) จะเปลี่ยนไปเป็น pyrochlorophyll (Schwartz และ Lorenzo,1991)

ระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ผักอาจมีการเปลี่ยนแปลงสี หรือสูญเสียสีเขียวไปได้ ขณะที่ผู้บริโภคมักชอบผักที่ผ่านความร้อนแล้ว ยังคงสีเขียวสดสว่างไว้ได้ เพราะลักษณะปรากฏเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงความสด ความน่ารับประทานและคุณค่าทางอาหาร การลวก (blanching) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในกระบวนการแปรรูปผักแช่เยือกแข็ง แต่ความร้อนได้เป็นสาเหตุทำให้โปรตีนซึ่งอยู่รวมกับคลอโรฟิลล์เป็นโปรตีนเชิงซ้อน (protein complex) เกิดเสื่อมสภาพ คลอโรฟิลล์ถูกปลดปล่อยออกมา คลอโรฟิลล์ในรูปนี้มักมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงและเมื่ออยู่ในสภาพเป็นกรด (Hutchings,1994) การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ที่เกิดบ่อยคือ pheophytinization โดยคลอโรฟิลล์ a และ b ได้เปลี่ยนไปเป็น pheophytin a และ b ผลทำให้ผักมีสีเขียวมะกอก (olive-green) ที่ผู้บริโภคไม่ชอบ (Dietrich และคณะ,1977) ปฏิกิริยานี้ ยังเคยพบในช่วงการเก็บรักษาผักแช่เยือกแข็ง

เมื่อการแปรรูปอาหารทำให้สีเขียวของผักมีการเปลี่ยนแปลง จึงได้มีการศึกษาในขั้นตอนการลวกเพื่อขัดขวางการเปลี่ยนสีนี้ เช่น การควบคุม pH, กระบวนการ High Temperature Short Time (HTST) โดยปราศจากการควบคุม pH, การใช้ด่าง ได้เคยมีการใช้ $MgCO_3$ ร่วมกับกระบวนการ HTST พบว่าสามารถรักษาสีเขียวได้เพียงในช่วงต้นของการเก็บรักษา และสารประกอบแมกนีเซียมหรือโซเดียมอื่นๆ ให้ประสิทธิภาพน้อยกว่า $MgCO_3$ อีก และสารประกอบโซเดียมยังเป็นเหตุให้ผักมีความนุ่มเกิดขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ และสารประกอบพวกแมกนีเซียมยังอาจทำให้เกิดผลึกขาวของ $MgNH_4PO_4$ ขึ้น การใช้สารพวก citrate-phosphate buffer (pH 6.6-6.8) เติมลงในน้ำลวก พบว่า เนื้อสัมผัสของผักเสียไป (Eheart และ Odland, 1973a ; Schwartz และ Lorenzo, 1990) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ด่าง NH_4HCO_3 เพื่อช่วยรักษาคลอโรฟิลล์ในการลวกผัก ข้อดีของสารประกอบแอมโมเนียม คือ จะสลายตัวให้แก๊ส NH_3 ซึ่งจะไป neutralize กรดที่ระเหยได้ที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ เช่น กรด formic, acetic, propionic, lactic

เกิดเป็นเกลือ NH_4^+ , ปราศจากการตกค้างของอิออนโลหะในผักกรณีที่ใช้เกลือ alkali หรือ alkaline earth metal และมีความปลอดภัยในการบริโภค

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eheart และ Odland (1973a) ศึกษาถึงผลของการใช้ด่างร่วมกับการลวก ผักบรอคโคลี และ green bean เพื่อรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ ในผักแช่เยือกแข็ง พบว่า เมื่อใช้ NH_4OH ร่วมกับการลวกด้วยไมโครเวฟในบรอคโคลี สามารถช่วยลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้มากกว่าการลวกด้วยน้ำ ส่วน green bean ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเติม NH_4HCO_3 สามารถช่วยลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ไว้ได้ 27% เมื่อเปรียบเทียบกับ green bean ที่ผ่านการลวกด้วยน้ำที่ไม่ได้มีการเติม NH_4HCO_3

Eheart และ Odland (1973b) ได้ศึกษาใช้ NH_4HCO_3 เติมในน้ำที่ใช้ลวกผัก 5 ชนิด ได้แก่ peas , green bean , lima bean , broccoli และ brussels sprouts ก่อนนำเข้าแช่เยือกแข็ง พบว่าผักแต่ละชนิด ต้องการความเข้มข้นของ NH_4HCO_3 ระดับเหมาะสมแตกต่างกันไป เนื่องจากผักแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันใน pH, ระบบบัพเฟอร์ และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยในผัก broccoli และ brussels sprout ควรใช้ NH_4HCO_3 ระดับความเข้มข้น 0.1 % หากใช้ความเข้มข้นสูงกว่านี้ สีของผักไม่ได้ดีขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมได้ลดลงด้วย สำหรับ peas และ lima bean ควรใช้ NH_4HCO_3ระดับความเข้มข้น 0.2% เพราะสีจะดีขึ้น และไม่มีผลกระทบต่อปริมาณ ascorbic acid รสชาติ เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวม

Odland และ Eheart (1975) พบว่า บรอคโคลี ที่ผ่านการลวกด้วยไอแอมโมเนีย มีสีเขียวเข้มสดดีกว่าวิธีการลวกด้วยไอน้ำแบบดั้งเดิม และปริมาณ ascorbic acid, ของแข็ง, เถ้า P, K, ในบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอแอมโมเนีย มีสูงกว่าที่ลวกด้วยน้ำ ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสบรอคโคลีที่ลวกด้วยไอแอมโมเนีย มีลักษณะด้านสี และการยอมรับรวมดีกว่าที่ลวกด้วยไอน้ำหรือน้ำ

Pizzocaro และ Monteverdi (1985) ได้ศึกษาผลการลวกผักจำพวก brassicas ก่อนที่เข้าแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อเอนไซม์ peroxidase และ lipoxygenase แปรอุณหภูมิจาก 60 -100°C ผลพบว่ากะหล่ำดอก (cauliflower) บรอคโคลีและ turnip tops มีเพียงอุณหภูมิ 100°C ที่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาอันสั้น

การแช่เยือกแข็ง (Freezing)

การแช่เยือกแข็งอาหารเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากอาหารไปยังสารให้ความเย็น ซึ่งสารให้ความเย็นอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ ในเทอมทางการค้ากระบวนการแช่เยือกแข็งผักผลไม้จะเกี่ยวกับการกำจัดความร้อนออกจากเนื้อเยื่อพืช จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดลงถึงจุดที่คงตัวได้ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ สารหรืออุปกรณ์ให้ความเย็น และอุณหภูมิในห้องเย็น จะมีความเย็นมากกว่า -18 °C ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แช่เยือกแข็งมีอายุมากกว่า 12 เดือน (Mallett,1993)

วิธีการแช่แข็งที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Fennema, 1975)

1. Air freezing

อาหารที่บรรจุภาชนะหรือไม่บรรจุ สามารถถูกแช่เยือกแข็งในอากาศที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0 ถึง -40 °C หากมีการหมุนเวียนของอากาศเย็นในช่วงการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงปานกลาง จะหมายถึง air blast freezing ซึ่งปกติ air blast freezing ทำได้โดยวางผลิตภัณฑ์บนถาดหรือบนสายพานแล้วเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์ ที่มีลมเย็นเป็นตัวกลางเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง พัดผ่านรอบผลิตภัณฑ์ทำให้อาหารเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ข้อดีของ air blast freezing คือ เสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ และยังสามารถใช้กับอาหารที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ ได้

Fluidized-bed freezing เป็นวิธีดัดแปลงมาจากวิธีการแช่เยือกแข็งแบบ air blast freezing โดยใช้กับอาหารที่เป็นของแข็งที่มีขนาดเท่าเมล็ดถั่วจนถึงผลขนาดสตรอเบอรี่ สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายของไหลที่มีฐานลึก 1-5 นิ้ว โดยมีลมเย็นที่อุณหภูมิราว -30 °F หรือเย็นกว่าพัดผ่านอาหารจากตอนล่างของสายพานโปร่งด้วยความเร็วสูงมาก จนทำให้ชิ้นอาหารเกิดการลอยตัวอยู่ในกระแสลมเย็น การแช่เยือกแข็งของอาหารจะเกิดเร็วมาก และอาหารแยกเป็นชิ้นเดี่ยว บางครั้งเรียกวิธีนี้ว่า ไอคิวเอฟ (IQF, individually quick frozen) วิธีนี้ใช้ได้ดีกับอาหารที่ไม่ได้บรรจุภาชนะ มีการลอยตัวได้ง่าย คือ ชิ้นเล็กและมีขนาดเหมือนกัน เช่น peas, แครอต, เชอรี่ วิธีนี้จะไม่เหมาะสมกับผักที่บอบบาง เช่น บรอคโคลี, whole leaf spinach ข้อดีมีการถ่ายเทความร้อนและอัตราการแช่เยือกแข็งดีกว่า air blast freezing และมีการสูญเสียความชื้นในผลิตภัณฑ์น้อยกว่าและไม่ละลายน้ำแข็งบ่อย

2. Plate freezing

ผลิตภัณฑ์อาหารถูกแช่เยือกแข็งโดยวางผลิตภัณฑ์ให้สัมผัสกับผิวหน้าของแผ่นโลหะที่เย็นซึ่งอาจใช้น้ำเกลือเย็น หรือไอเย็นจากสารให้ความเย็น เช่น R-22, R-12 หรือแอมโมเนีย

ข้อดี ลดปัญหาการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์, ไม่จำเป็นต้องทำการละลายเครื่องมือ

และการโปร่ง หรือบวมพองของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด

ข้อเสีย ผลิตภัณฑ์ที่ใช้จะต้องมีความหนาสม่ำเสมอ การแช่เยือกแข็งมีอัตราช้าปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทันสมัยอื่น ๆ

3. Liquid immersion freezing

มักหมายถึง การจุ่มลงในของเหลวโดยตรง (direct immersion freezing) ทำโดยนำผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุหีบห่อ หรือไม่บรรจุหีบห่อจุ่มในของเหลวที่เป็นสารให้ความเย็น หรือโดยการพ่นสารให้ความเย็นที่เป็นของเหลวบนผลิตภัณฑ์ก็ได้ สารละลายเอเควียสที่เป็นสารให้ความเย็นได้แก่ โพพิลีนไกลคอล (propylene glycol) , กลีเซอรอล (glycerol), โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride), แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) และของผสมระหว่างเกลือกับน้ำ วิธีนี้ไม่ค่อยแพร่หลาย มักใช้กับผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้นกระป๋อง, ผลิตภัณฑ์สัตว์ปีก โดยเฉพาะเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็ง

ข้อดี อัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว โดยเฉพาะอาหารที่ไม่มีการบรรจุหีบห่อ หรือมีขนาดไม่ใหญ่ เปลี่ยนขบวนการทำให้เป็นระบบต่อเนื่องได้

ข้อเสีย หาสารให้ความเย็น ที่มีคุณสมบัติเหมาะกับอาหารได้ยาก

4. Cryogenic freezing

เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่เร็วมาก ทำได้โดยให้ให้อาหารที่บรรจุหีบห่อ หรือไม่บรรจุหีบห่อที่มีขนาดเล็ก สัมผัสกับสารให้ความเย็น และสารให้ความเย็นเกิดการเปลี่ยนสถานะ โดยใช้ความร้อนจากตัวอาหารในการเปลี่ยนสถานะ อัตราการแช่เยือกแข็งในวิธีนี้จะเร็วกว่าวิธีแช่เยือกแข็งแบบ air blast หรือ plate freezing แต่มีอัตราเร็วมากกว่าปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับ fluidized-bed หรือ liquid-immersion- freezing

สารให้ความเย็นที่ใช้กันทั่วไปมากที่สุด คือ ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) และคาร์บอนไดออกไซด์แข็งและเหลว (solid and liquid carbondioxide) สำหรับไดคลอโรฟลูออมีเธน (dichlorofluomethane, refrigerant 12 หรือ Freon 12) ก็ยังคงมีการใช้กันอยู่ คุณสมบัติของสารให้ความเย็น แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของสารให้ความเย็น (Fellows, 1990)

	Liquid nitrogen	Carbon dioxide	Freon 12
Density (kg m^{-3})	784	464	1485
Specific heat (liquid)(kJ $kg^{-1}K^{-1}$)	1.04	2.26	0.984
Latent heat (kJ kg^{-1})	358	352	297
Total usable refrigeration effect (kJ kg^{-1})	690	565	297
Boiling point ($^{\circ}C$)	-196	-78.5(sublimation)	-29.8
Thermal conductivity (W $m^{-1}K^{-1}$)	0.29	0.19	0.095
Consumtion per 100 kg of product frozen (kg)	100-300	120-375	1-3

ทั้งไนโตรเจนเหลวและคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และเฉื่อยต่อปฏิกิริยา เมื่อไนโตเจนถูกพ่นลงสู่อาหาร ความร้อนทั้งหมดในรูปของ enthalpy จำนวน 48% จะได้ถูกใช้ไปในรูป latent heat of vaporization ของการเกิดเป็นก๊าซ ส่วนที่เหลืออีก 52 % ของ enthalpy ได้อยู่ในก๊าซเย็น ซึ่งต้องมีการหมุนเวียนเพื่อให้เกิดการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

คาร์บอนไดออกไซด์ มีคุณสมบัติ bacteriostat แต่ก็มีพิษ และก๊าซควรปล่อยออกจากโรงงานเพื่อหลีกเหลี่ยงการเกิดอันตรายแก่ผู้ประกอบการ, consumtion ของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า consumtion ของไนโตรเจนเหลว แต่การสูญเสียช่วงเก็บรักษานั้นต่ำกว่าและบางครั้งมีระบบการนำก๊าซไปใช้ใหม่เพื่อการประหยัด ดังนั้นการเลือกใช้สารให้ความเย็นตัดสินใจได้จากราคาและธรรมชาติของอาหาร

ข้อดีของการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว คือ

1. เครื่องมือทำให้มีความต่อเนื่องได้ง่าย มีค่าติดตั้งต่ำ
2. เริ่มแช่เยือกแข็งได้เร็วและไม่ต้องเสียเวลาละลายน้ำแข็ง
3. สูญเสียความชื้นน้อยกว่า 1%
4. ออกซิเจนถูกกำจัดออกไปในระหว่างแช่เยือกแข็ง
5. เกิดการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว มีผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย, ผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิต่ำ เช่น มะเขือเทศ, อะโวกาโด,เห็ด,กล้วย, สตรอเบอรี่ เกิดความเสียหายเนื่องจากการแช่เยือกแข็งน้อย

6. สีผิวหนังของสัตว์ปีกที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธีการนี้ จะให้สีขาวนวลและมีความสม่ำเสมอ

ข้อเสีย ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง ซึ่งเป็นค่าไนโตรเจนเกือบทั้งหมด