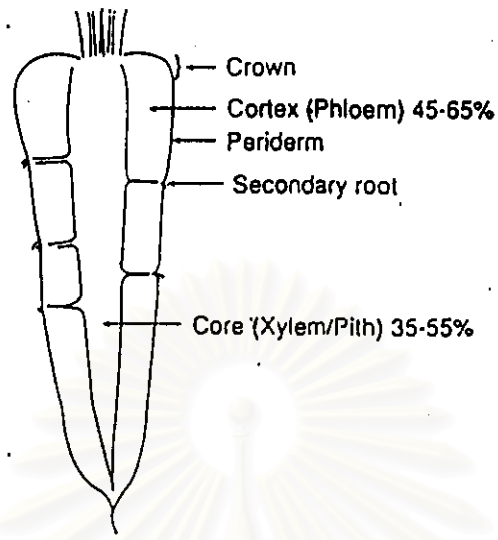
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

แครอท

ชื่อวิทยาศาสตร์คือ Daucus carota var. sativa อยู่ในตระกูล Umbelliferae เป็นพืชสองฤดู (Nonnecke, 1989) อยู่ในวงศ์เดียวกับผักชีฝรั่ง (parsley) (พิลักษณา, 2529) ปลูกเพื่อนำรากมาใช้ประกอบอาหาร ในประเทศไทยนิยมปลูกพันธุ์ Nantes ซึ่งเป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศ (สมพร ทรัพยสาร, 2534) ส่วนพันธุ์ที่เหมาะสำหรับการทำแห้ง ได้แก่ พันธุ์ Chantenay ลักษณะรากเป็นรูปกรวยสั้น มีความยาว 4.5 - 5.5 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 - 2 นิ้ว ทั้งแกนกลางและเนื้อมีสีส้มเข้ม (Dauglas and Connidine, 1982)

แครอทเป็นแหล่งโปรวิตามิน เอ ที่สำคัญ เนื่องจากมีแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่สูงโดยเฉพาะบีตา-แคโรทีนซึ่งเป็นเม็ดสีหลักของแครอท (Gross, 1991) ปริมาณบีตา-แคโรทีนอยู่ในช่วง 850 ถึง 8500 ไมโครกรัม/ 100 กรัมแครอทสด หรือประมาณ 60 % ของปริมาณแคโรทีนทั้งหมด (Heinonen, 1990) นอกจากนั้น แครอทยังมีวิตามินบีหนึ่ง บีสอง และซี เป็นองค์ประกอบอีกด้วย แต่ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์จะต่างกันตามส่วนต่างๆ ของแครอท (รูปที่ 2.1) โดยพบว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ในส่วน phloem (cortex) มีปริมาณมากกว่าที่พบในส่วน xylem (core) ประมาณ 30 % จึงทำให้สองส่วนนี้มีสีต่างกัน (Gross, 1991) ซึ่งแครอทที่มีคุณภาพสูงต้องมีสัดส่วนของ phloem มากกว่าส่วน xylem เพราะรสหวานของแครอทเกิดจากคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้นสูงในส่วน phloem (Nonnecke, 1989) คุณค่าทางอาหารของแครอทแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของแครอท

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินของแครอทส่วนที่รับประทานได้ต่อ 100 กรัม

Calories	38 unit
Calcium	1.0 mg.
Phosphorus	68.0 mg.
Iron (Fe)	1.2 mg.
Vitamin A	16162.0 IU
Vitamin B1	0.04 mg.
Vitamin B2	0.05 mg.
Vitamin C	41.0 mg.
Niacin	0.8 mg.

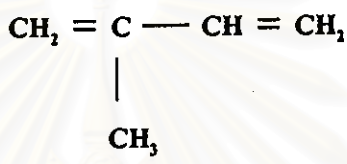
ที่มา : ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทย กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, พฤศจิกายน 2527.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ส้ม และแดง จัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายไขมัน โมเลกุลประกอบด้วยหมู่ไอโซพรีน (Isoprene units) เชื่อมต่อกันแบบ Conjugated double bond ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โครงสร้างเช่นนี้ทำให้แคโรทีนอยด์ไม่คงตัว สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหมู่ไอโซพรีน (C_5H_8)
ที่มา : Goodwin (1980)

<u>ชนิดของแคโรทีนอยด์</u>

แคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามสูตรโครงสร้างทางเคมีได้ 6 ชนิด (Goodwin, 1980) คือ

1. Carotenoid hydrocarbons คือ แคโรทีนอยด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหรือรู้จักกันดีในชื่อของแคโรทีน (carotene) เช่น บีตา-แคโรทีน (β-carotene) แอลฟา-แคโรทีน (α-carotene) แกมมา-แคโรทีน (γ-carotene) และไลโคพีน (lycopene)

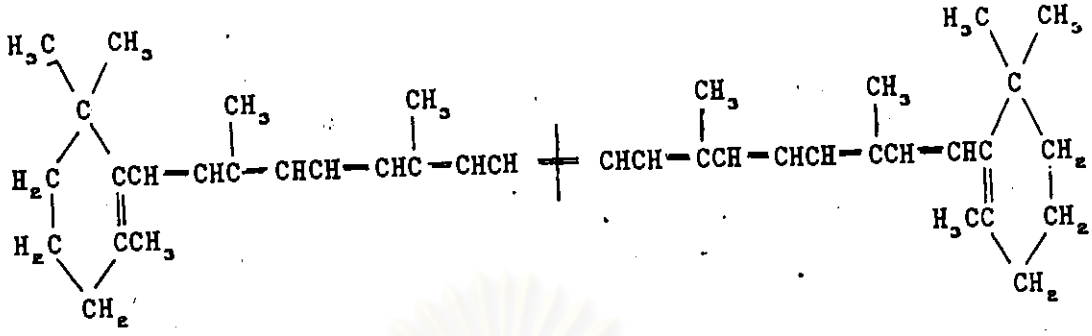
2. Oxygenated carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน หรือรู้จักกันดีในชื่อ แซนโธฟิลล์ (xanthophylls) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่อยู่ในรูปต่างๆ ของแคโรทีน ได้แก่

อนุพันธ์รูปไฮดรอกซิล (hydroxyl) เช่น ซีแซนทีน (zeaxanthin)

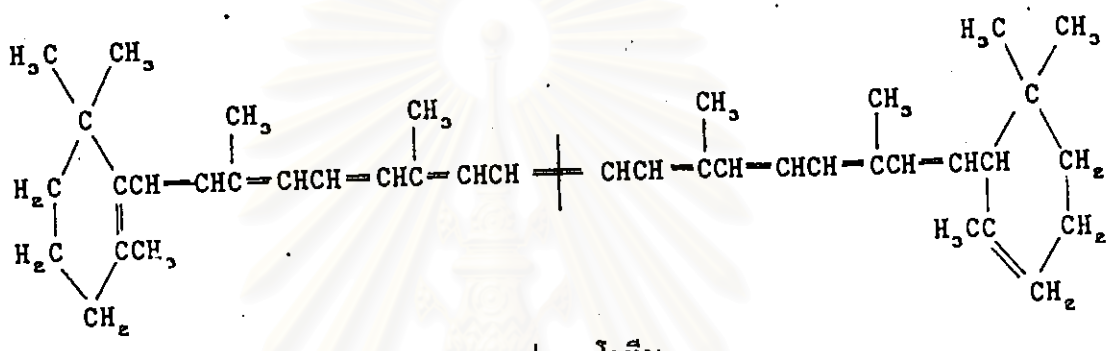
อนุพันธ์รูปเมทอกซิล (methoxyl) เช่น สไปริลโลแซนทีน (spirilloxanthin)

อนุพันธ์รูปไกลโคซิล (glycosyl) เช่น ไมโซแซนโธฟิลล์ (myxoxanthophyll)

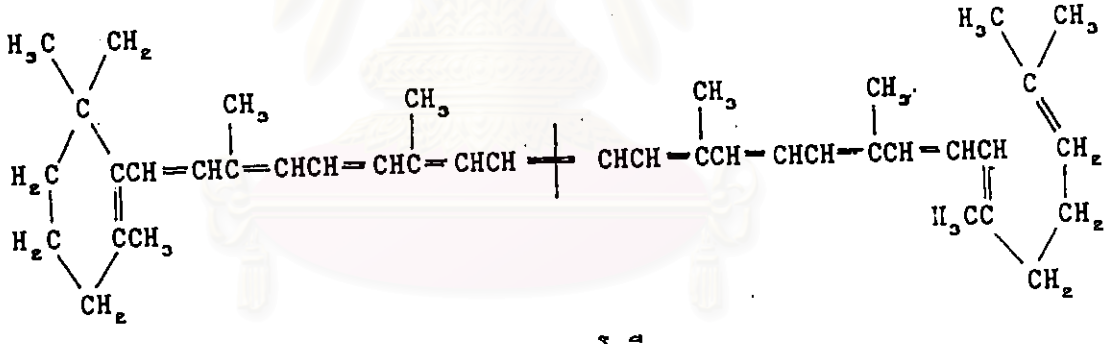
3. Retro-carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่พันธะเดี่ยวและพันธะคู่ในระบบคอนจูเกตเกิดการเคลื่อนที่หนึ่ง ตำแหน่งทุกพันธะ เช่น เอสโซแซนทีน (eschscholtzxanthin)



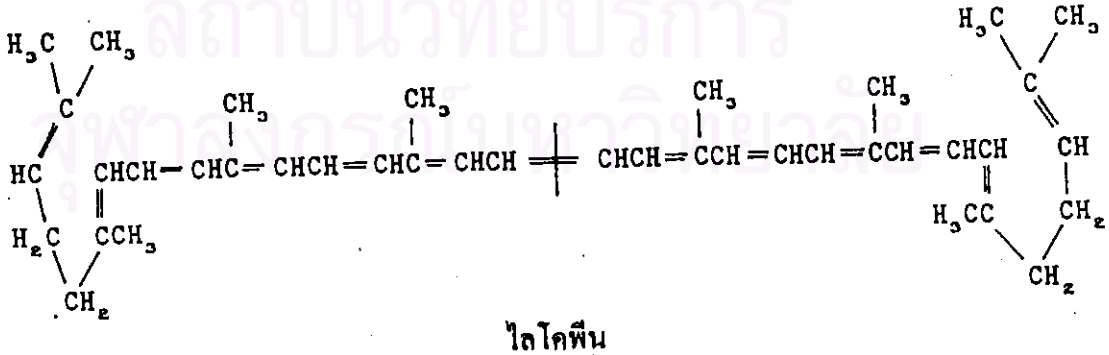
บีตา-แคโรทีน



แอลฟา-แคโรทีน



แกมมา-แคโรทีน



ไลโคพีน

รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของแคโรทีนชนิดต่างๆ

ที่มา : Goodwin (1980)

4. Seco and apocarotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแล้วมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่วงแหวนจะไม่มีการสูญเสียคาร์บอน เรียกว่า เซคโดแคโรทีนอยด์ (secocarotenoids) เช่น เซมิบีตาแคโรทีโนน (semi-betacarotenone) แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยาเกิดที่สายของโมเลกุลจะทำให้สูญเสียคาร์บอนและทำให้โครงสร้างโมเลกุลสั้นลง เรียกว่า อะโพแคโรทีนอยด์ (apocarotenoids) เช่น บีตา-ซิทรอริน (β-citraurin) บีตา-อะโพ-8-แคโรทีนัล (β-apo-8-carotenal)

5. Nor-carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่กำจัดคาร์บอนออกจากโมเลกุลโดยที่ไม่ได้ทำลายพันธะ เช่น เพอริดินิน (peridinin)

6. Higher-carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 40 อะตอม อาจมีคาร์บอนจำนวน 45 หรือ 50 อะตอม เช่น เดคะพรีโนแซนทีน (decaprenoxanthin)

<u>แหล่งของบีตา-แคโรทีน</u>

บีตา-แคโรทีนพบได้ในธรรมชาติ เช่น ผัก ผลไม้ เห็ด และสาหร่าย ลักษณะที่พบมีรูปแบบต่างกันไป (Haigh, 1994) ดังนี้

1. เป็นหยดไขมันเล็กๆ ในเซลล์ของเนื้อเยื่อ เช่น แครอท
2. กระจายตัวเป็น colloidal ในส่วนที่เป็นไขมัน เช่น ปาล์มน้ำมัน
3. จับกับโปรตีนใน aqueous phase เช่น ในผลไม้
4. เกิดเอสเทอร์กับกรดไขมัน เช่น ในผลไม้สุก

<u>ประโยชน์ของบีตา-แคโรทีน</u>

1. คุณค่าทางอาหาร

บีตา-แคโรทีน ประกอบด้วยวงแหวนบีตา-ไอโอโนน (β-ionone ring) 2 วง มีวิตามินเอ แอคติวิตี้ สูงสุดในหมู่แคโรทีนอยด์ตัวหลักๆ ซึ่งระดับวิตามิน เอ แอคติวิตีของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

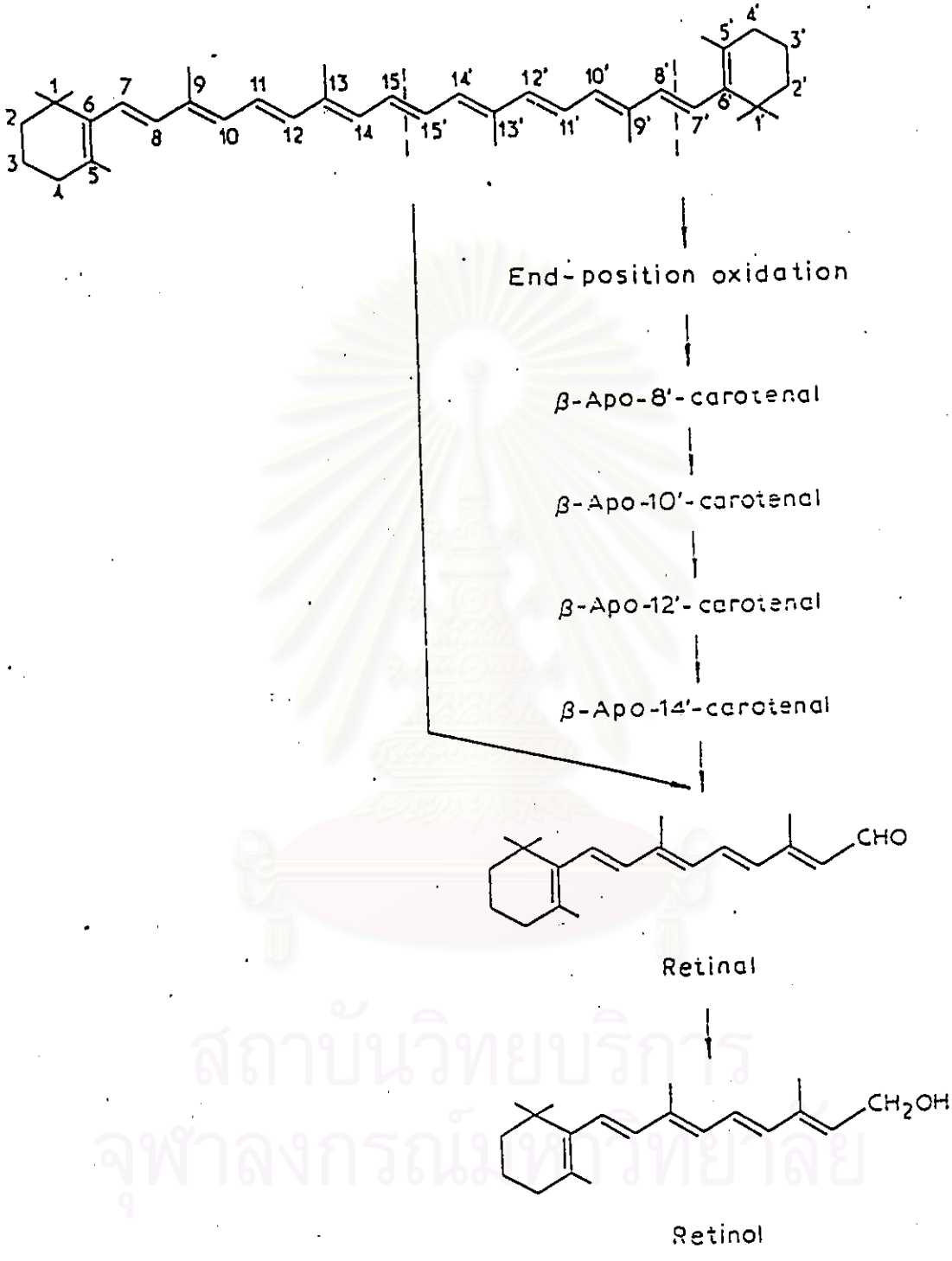
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 วิตามิน เอ แอคติวิตี้ ของแคโรทีนอยด์บางชนิด

Carotenoid	Activity (%)
all-trans-β-Carotene	100
9-cis-β-Carotene (U)	38
13-cis-β-Carotene (B)	53
all-trans-α-Carotene	53
9-cis-α-Carotene (U)	13
13-cis-α-Carotene (B)	16
all-trans-Cryptoxanthin	57
9-cis-Cryptoxanthin (U)	27
15-cis-Cryptoxanthin	42
β-Carotene 5,6-epoxide	21
β-Carotene 5,8-epoxide (mutatochrome)	50
γ-Carotene	42-50
β-Zeacarotene	20-40

ที่มา : Gross (1991)

บีตา-แคโรทีนจะถูกดูดซึมในร่างกายได้ดีที่สุดประมาณร้อยละ 70 ซึ่งดูดซึมได้น้อยกว่าวิตามิน เอ ที่ดูดซึมได้ถึงร้อยละ 90 ของปริมาณสารที่ได้รับจากอาหาร และยิ่งรับประทานมากประสิทธิภาพการดูดซึมก็จะลดลงตามส่วน พบว่าไขมันในอาหารเป็นตัวที่จะช่วยขนส่งวิตามิน เอ และบีตา-แคโรทีนเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านเซลล์ของลำไส้เล็ก ส่วนน้ำดีจะช่วยละลายบีตา-แคโรทีนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมให้ดียิ่งขึ้น บีตา-แคโรทีนสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ ได้ โดยอัตราส่วนของการเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ โดยประมาณ คือ 6 ต่อ 1 หมายความว่าต้องอาศัยบีตา-แคโรทีน 6 ไมโครกรัมเพื่อเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ 1 ไมโครกรัม ในร่างกายมนุษย์บีตา-แคโรทีนจะเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ ตามปฏิกิริยาชีวเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนบีตา-แคโรทีนเป็นวิตามิน เอ

ที่มา : Gross (1991)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เป็นสีผสมอาหาร

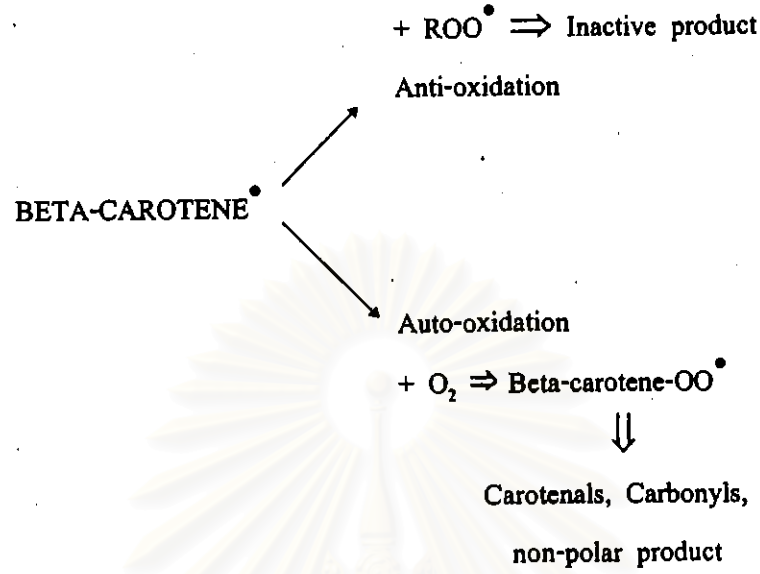
แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุที่ให้สีเหลือง เหลืองส้ม จนถึงแดง พบมากในพืชที่มีสีเหลืองส้ม เช่น มะละกอสุก มะม่วง กล้วยและผักใบเขียว มีปริมาณมากในธรรมชาติ ซึ่งสารสกัดสีเหล่านี้สามารถนำมาใช้ปรุงอาหารได้ การสกัดสีเหล่านี้อาจทำให้อยู่ในรูปของเกลือ รูปผงละลายในน้ำมัน และอิมัลชัน สีจากแคโรทีนอยด์ที่รับรองว่าใช้ได้ในอาหาร ได้แก่

1. บีตา-แคโรทีน ให้สีเหลืองจนถึงสีส้ม ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด
2. บีตา-อะโพ-8-แคโรทีนัล ให้สีในช่วงสีส้มจนถึงสีแดง
3. แคนตาแซนทีน ให้สีแดง

3. เป็นแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) (Haigh, 1994)

บีตา-แคโรทีนสามารถลดการเกิด singlet oxygen ซึ่งเป็นสารที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดโรคร้ายต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง บีตา-แคโรทีนจึงสามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยจะเข้ารวมตัวกับเปอร์ออกซี่แรดิคัล (peroxy radicals) ทำให้สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันของกรดไขมันในเซลล์ได้ ซึ่งปฏิกิริยานี้ต้องเกิดขึ้นที่ partial pressure ต่ำประมาณ 3.10^{-2} atm (2% ออกซิเจน) ถ้าเกิดขึ้นที่ oxygen pressure สูง บีตา-แคโรทีนจะสูญเสียคุณสมบัติการเป็นแอนติออกซิแดนท์ และส่งผลให้เกิดออโตออกซิเดชัน ดังรูปที่ 2.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 การรวมตัวของบีตา-แคโรทีนแรดิคัล

ที่มา : Iddamaria Germann, F. Hoffmann-La Roche Ltd. Switzerland. (1994)

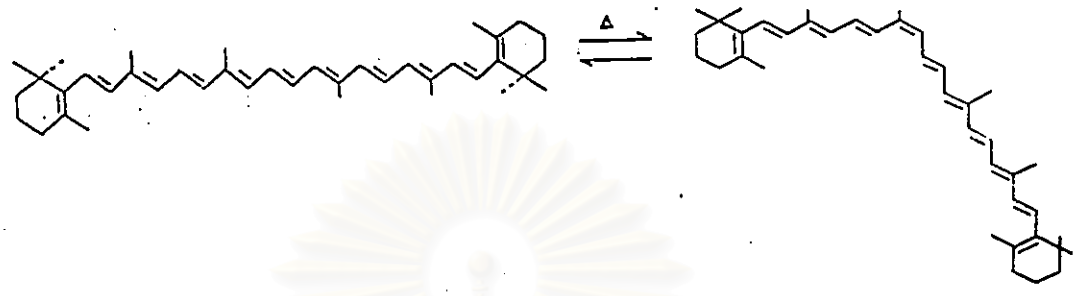
<u>ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของแคโรทีนอยด์</u>

1. ความร้อน (Stefanovich และ Karel, 1982)

ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารจะมีผลต่อแคโรทีนอยด์ โดยแคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูป trans-form ถ้าได้รับแสง ความร้อน หรือรังสีจะเกิดการบิดตัว 180 องศา เป็น cis-form ซึ่งจะดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่าและมี molecular extinction coefficient ที่ต่ำกว่าทำให้สีอ่อนกว่า (รูปที่ 2.6)

Mohamed และ Hussein (1994) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งแครอทต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนมีผลต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์มากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ดังนั้นในระหว่างกระบวนการผลิตไม่ควรให้ความร้อนแบบ high temperature short time

บีตา-แคโรทีนที่อยู่ในรูปอิมัลชันและรูปผงแห้งถ้าบรรจุไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทแล้วเก็บในที่เย็นจะสามารถรักษาวิตามิน เอ ได้นาน 12 เดือน แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิสูงเสถียรภาพจะลดลง เช่น การเก็บน้ำผลไม้ที่ 24 °C นาน 6-12 เดือน บีตา-แคโรทีนยังคงมีอยู่ในปริมาณที่ยอมรับได้



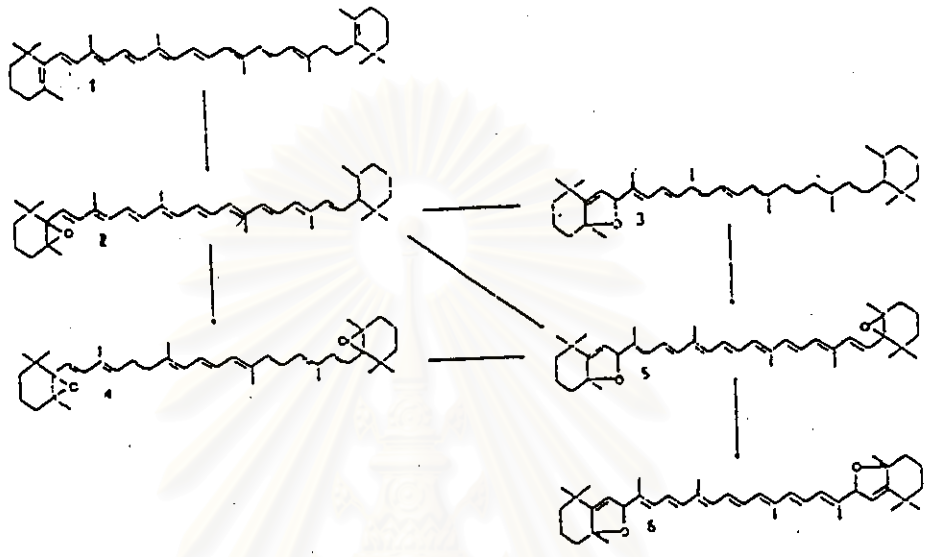
trans-beta-carotene 13-cis-beta-carotene

รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนรูปของบีตา-แคโรทีนเนื่องจากความร้อน แสง และรังสี

ที่มา : Gross, 1991

2. ความเป็นกรด (Goodwin, 1984)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของบีตา-แคโรทีนในสภาวะที่รุนแรงและมีการใช้ oxidizing agent ที่รุนแรงร่วมกับความร้อนและกรด จะทำให้เกิดสารประกอบพวกอีพอกไซด์ชนิดต่างๆ ซึ่งเกิดจากการจับตัวของออกซิเจนตรงพันธะคู่ของส่วนที่เป็นวงแหวนในโครงสร้าง (รูปที่ 2.7) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีซีดจางลง



รูปที่ 2.7 สารประกอบอีพอกไซด์ชนิดต่างๆจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของบีตา-แคโรทีน ในสภาวะที่เป็นกรด

1 = β-Carotene

2 = β-Carotene-5,6-epoxide

3 = β-Carotene-5,8-epoxide

4 = β-Carotene-5,6,5′,6′-diepoxide

5 = β-Carotene-5,8,5′,6′-diepoxide

6 = β-Carotene-5,8,5′,8′-diepoxide

ที่มา : Marty และ Berset (1986)

3. ออกซิเจน (Gross, 1991)

ถ้าแคโรทีนอยด์สัมผัสกับอากาศคอนจูเกชันของพันธะคู่จะจับตัวกับออกซิเจนได้เป็นส่วนผสมสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิล และสารที่ระเหยตัวได้ ปฏิกิริยานี้เป็น direct oxidation ซึ่งอัตราการสูญเสียแคโรทีนอยด์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับออกซิเจนเพียงอย่างเดียวแต่ขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มของแสง ความร้อน ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การเก็บแคโรทีนอยด์ในที่ที่มีออกซิเจนจะเกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะแคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างเป็น β - ring จะไวต่อการถูกออกซิไดส์มากที่สุดโดยที่บีตา-แคโรทีนจะสูญเสียเป็นตัวแรก และสำหรับแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ พบว่า canthaxanthin จะไวต่อการเกิดออกซิเดชันน้อยที่สุด ในขณะที่ bixin ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์อีกตัวหนึ่งจะมีเสถียรภาพที่ดีเมื่อเก็บไว้ในที่มีอากาศ

การป้องกันโดยการปิดผนึกภาชนะบรรจุต้องคำนึงถึงช่องว่างข้างบนให้มีอากาศอยู่น้อยที่สุด การบรรจุแบบสุญญากาศหรือการรวมตัวของรงควัตถุกับน้ำมันจะเป็นตัวกั้นออกซิเจนทำให้แคโรทีนอยด์มีเสถียรภาพที่ดีขึ้น หรืออาจจะใช้สารแอนติออกซิแดนท์ เช่น กรดแอสคอร์บิก butylated hydroxytoluene (BHT) หรือ butylated hydroxyanisole (BHA) ช่วยในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันก็ได้

4. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Gross,1991 ; Bavernfeind,1981)

สีที่จางหายไปอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอื่นๆ ที่รวมอยู่ด้วย เช่น linoleic acid สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้เองและจะทำให้แคโรทีนอยด์เกิดออกซิเดชันตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็น indirect oxidation การป้องกันทำได้โดยการใช้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวหรือน้ำมันที่ปราศจากอิออนของโลหะผสมกับแคโรทีนอยด์เพื่อลดการสัมผัสระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์

5. การปนเปื้อนของโลหะ (Gross, 1991)

อิออนของโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้แคโรทีนอยด์เสื่อมสภาพถ้ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ด้วย เช่น โลหะทองแดงจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ไลโคปีนเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนเร็วขึ้น 3.5 เท่าโดยอิออนของทองแดงจะเป็นตัวทำให้เกิด free radical

6. แสงสว่าง (Goodwin,1980)

แสงเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ถ้าไม่มีออกซิเจนแคโรทีนอยด์จะเกิดการสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับบีตา-แคโรทีนแสงจะทำให้เกิด cis-trans isomerism คล้ายกับที่เกิดจากความร้อน โดยในขณะที่บีตา-แคโรทีนสัมผัสแสงไอโอดีนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิด cis-trans isomer ที่อุณหภูมิห้อง

7. เอนไซม์ (Bavernfeind, 1981)

ในระดับเซลล์แคโรทีนอยด์จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของแคโรทีนอยด์กับโปรตีนที่มีเสถียรภาพที่ดีซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันสารในเนื้อเยื่อที่ยังไม่ถูกทำลายระหว่างการเก็บเกี่ยว แต่เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายจะมีการปล่อยเอนไซม์ออกมาทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของการเสื่อมสภาพของแคโรทีนอยด์โดยเอนไซม์ที่ทำให้ไขมันเกิดการออกซิเดชัน ดังกลไกต่อไปนี้

1. Peroxidase จะเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ทั้งทางตรงและทางอ้อม

$$\text{CAROTENOIDS} \xrightarrow{A} \text{5,6-EPOXIDE} \xrightarrow{B} \text{5,8-EPOXIDE}$$

A = peroxidase

B = plant acid

การเสื่อมสภาพโดยทางอ้อม คือ การเกิดออกซิเดชันของไขมันทำให้แคโรทีนอยด์เกิดการออกซิไดส์ตามไปด้วย

2. Lipoxidase จะผลิต free radical จากไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแคโรทีนอยด์ในขั้นแรกๆ

3. Lipoperoxidase จะมีผลถ้ามีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ด้วยซึ่งถูกสร้างโดย lipoxidase หรือการเกิดออกซิเดชันโดยตัวเอนไซม์เอง จะมีความสำคัญมากในการสกัดน้ำมันถั่วเหลือง

ก่อนการถวกการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์เกิดจากเอนไซม์ แต่การเปลี่ยนแปลงหลังจากนั้นไม่ได้เกิดจากเอนไซม์แต่เกิดจากความร้อนแทน

8. น้ำ (Gross,1991)

น้ำมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของเอนไซม์และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ผักและผลไม้ที่ทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์น้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามการเอาน้ำออกจะทำให้พื้นที่ผิวมากขึ้นแคโรทีนอยด์จึงสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้นทำให้แคโรทีนอยด์เกิดการสูญเสียได้มากขึ้น แต่ถ้ามีน้ำอยู่ด้วยฟิล์มของน้ำที่ล้อมรอบเซลล์จะช่วยลดการสัมผัสของแคโรทีนอยด์กับออกซิเจนได้ จึงมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Goldman, Horev และ Saguy (1983) ได้ศึกษาผลของค่า water activity ต่อการเปลี่ยนแปลงของบีตา-แคโรทีน พบว่าตัวอย่างอาหารผงแห้งที่มีค่า a_w 0.84 จะสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนไว้ได้มากกว่าตัวอย่างที่มีค่า a_w 0.33 เนื่องจากปริมาณ free radical ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิด pigment oxidation จะลดลงโดยการทำปฏิกิริยากับน้ำ และการลดลงนี้จะดำเนินต่อไปเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น

แครอทอบแห้ง

ปัจจุบันแครอทอบแห้งได้รับความนิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร ปริมาณความต้องการขึ้นกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และคุณค่าทางอาหารก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึง สารอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งคือ บีตา-แคโรทีน ซึ่งเป็นสารอาหารที่สามารถเสื่อมสลายได้ง่ายจากสารเคมีและสภาวะแวดล้อม ดังนั้นในการอบแห้งมักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสูญเสียสมบัติการเป็นโปรวิตามิน เอ

กระบวนการผลิตแครอทอบแห้งโดยทั่วไปมี 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง

ขั้นตอนที่สำคัญคือ การยับยั้งเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรสชาติของผลิตภัณฑ์ อาจทำได้โดยการให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำ หรืออาจใช้สารเคมี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือซัลไฟต์ เป็นต้น

การลวก (Woolen, 1967 ; Lee, Bourne และ Buren, 1979)

การลวกก่อนการอบแห้งมีวัตถุประสงค์หลักคือ ยับยั้งเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สี กลิ่น รสชาติของผลิตภัณฑ์ เอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการลวกและใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการลวก คือ peroxidase, catalase และ lipoxygenase ในกระบวนการแปรรูปผักการยับยั้ง peroxidase เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะเป็นตัวที่ทนความร้อนมากที่สุดและสามารถตรวจสอบได้ง่าย ภายหลังการลวกหากตรวจสอบไม่พบ peroxidase แสดงว่าเอนไซม์ตัวอื่นถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน

การลวกอาจทำได้ 3 วิธี ดังนี้คือ

1. Water blanching

การลวกด้วยวิธีนี้อาศัยความร้อนจากน้ำร้อน ทำได้โดยผ่านผักที่ล้างสะอาดแล้วไปยัง modified rotary blancher ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการลวกภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ส่วนมากมักทำที่ 99 °C (210 °F) เป็นเวลา 2-3 นาที ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

การลวกต้องระมัดระวังการเกิด over scalding หรือ over blanching เพราะจะทำให้ผักมีปัญหาระหว่างทำการอบแห้ง

ข้อเสียของการลวกโดยวิธีนี้ คือ มักมีการสูญเสียวิตามินที่ละลายในน้ำซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการลวก ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียสารอาหารระหว่างการลวกด้วยน้ำร้อนในแง่ของการถ่ายเทมวล ได้แก่ พื้นที่ผิว ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำร้อน และการหมุนเวียนหรือการกวนน้ำ (Agitation of water) (Bourne, 1987)

2. Steam blanching

การลวกโดยใช้ไอน้ำมักให้ผลดีและเป็นที่นิยมมากกว่าวิธี water blanching เนื่องจากวิธีนี้จะช่วยลดการสูญเสียของสารอาหารภายในเซลล์ของผักผลไม้ทำให้มีคุณภาพดี

3. Microwave blanching

ความร้อนที่ใช้ในวิธีนี้จะเป็นความร้อนที่ได้จากรังสี microwave ซึ่งมีความถี่สูง และประโยชน์ในการใช้วิธีนี้ คือ ทำให้ไม่มีการสูญเสียสารจากเซลล์ของผักหรือผลไม้ คุณค่าทางอาหารและรสชาติจะสูญเสียน้อยมาก

Nutting, Neumann และ Wagner (1970) ได้ทำการศึกษาผลของการลวกต่อบีตา-แคโรทีนในผักชีฝรั่งอบแห้ง พบว่า ก่อนการอบแห้งผักชีฝรั่งที่ผ่านการลวกจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าผักชีฝรั่งที่ไม่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการลวกทำให้เอนไซม์ถูกยับยั้ง แต่ภายหลังการอบแห้งด้วย Bin Dryer พบว่าผักชีฝรั่งที่ไม่ผ่านการลวกจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่า เนื่องจากการลวกถึงแม้จะยับยั้งเอนไซม์ได้ แต่จะมีผลทำให้แอนติออกซิแดนท์ที่มีอยู่ตาม

ธรรมชาติถูกทำลายไป เมื่อผักชีฝรั่งผ่านความร้อนในการอบแห้งและสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน บีตา-แคโรทีนจึงสูญเสียไปจากการออกซิเดชัน

อย่างไรก็ตาม Bao และ Chang (1994) ได้ศึกษาผลของการลวกต่อปริมาณบีตา-แคโรทีนในกากแครอทภายหลังการสกัดน้ำออกไปแล้ว โดยทำการลวกแครอทในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แล้วคั้นเอาน้ำออกไป จากนั้นนำกากแครอทมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ Freeze Dryer พบว่า กากของแครอทจากตัวอย่างที่ลวกในน้ำร้อนจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงสุด ขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกกากแครอทจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนต่ำสุด เนื่องจากการใช้วิธี Freeze Dry ตามการทดลองของ Bao และ Chang นี้ จะทำที่ความดันและอุณหภูมิต่ำ (ความดันต่ำกว่า 4.58 ทอร์ และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงจนน้ำแข็งละลาย) แล้วทำให้น้ำแข็งเกิดการระเหิดไป ตัวอย่างจึงมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนน้อยกว่าและไม่มีการสัมผัสกับอุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ การสูญเสียบีตา-แคโรทีนโดยส่วนใหญ่จึงเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ ดังนั้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกจึงมีความคงตัวของบีตา-แคโรทีนสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก

แอนติออกซิแดนท์

Goldman, Horev และ Saguy (1983) ได้ศึกษาผลของ BHT ต่อการเปลี่ยนแปลงของบีตา-แคโรทีน โดยการสร้างรูปแบบอาหารเลียนแบบอาหารผงแห้ง ซึ่งประกอบด้วยสารละลายบีตา-แคโรทีน 0.4%, Methylene Chloride และ Microcrystalline Cellulose ผสมและบดเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติม BHT 1.4 mg./g. ตัวอย่างแห้ง เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติม BHT พบว่าตัวอย่างที่เติม BHT จะสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนไว้ได้มากกว่า เนื่องจาก BHT จะป้องกันการออกซิเดชันของบีตา-แคโรทีน โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในช่วง Initiation จึงสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ดังนี้

$$\text{Initiation :} \quad RH \Rightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

$$\text{เมื่อเติม BHT :} \quad R^{\bullet} + AH \Rightarrow RH + A^{\bullet}$$

เมื่อ RH แทน บีตา-แคโรทีน และ AH แทน BHT

ซัลไฟต์

สารประกอบจำพวกซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมไบซัลไฟต์ โปตัสเซียมไบซัลไฟต์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ สารเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลานานแล้วเพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งจากเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ใช้เป็นแอนติออกซิแดนท์ หรือใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดการรีดิวซ์ (Branen และ Davidson, 1983 ; Stafford, Bolin และ Mackey, 1972)

ปริมาณการใช้ซัลไฟต์ในอาหารขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้และความต้องการ ในผลิตภัณฑ์จำพวกผักและผลไม้บางอย่าง USFDA ได้กำหนดปริมาณสารตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้สูงสุดที่ 300, 500 และ 2,000 ppm. ในน้ำผลไม้ มันฝรั่งแห้ง และผลไม้แห้ง ตามลำดับ สำหรับพระราชบัญญัติอาหารของไทยได้กำหนดให้ผักและผลไม้แห้งมีปริมาณตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เกิน 2,500 ppm. (กระทรวงสาธารณสุข, 2522)

ในด้านความปลอดภัยในการใช้ซัลไฟต์ FDA ได้รับรายงานว่า การบริโภคอาหารที่มีซัลไฟต์ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการแพ้ที่รุนแรง โดยซัลไฟต์จะทำให้เกิดอาการหอบหืดในประชากรบางส่วนที่เป็นโรคนี้ และบางกรณีอาจเกิดการหอบหืดอย่างรุนแรงหรือแม้กระทั่งเกิดปฏิกิริยาการแพ้เช่นเดียวกับโรคภูมิแพ้หรือแพ้ยา แต่จากการตรวจสอบของ Federation of American Society for Experimental Biology (FASEB) พบว่า สารประกอบจำพวกซัลไฟต์ไม่ได้เป็นสารที่ทำให้เกิดรูปร่างผิดปกติของตัวอ่อนในครรภ์ สารก่อการกลายพันธุ์หรือสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง ไม่มีข้อมูลทางด้านพิษวิทยาหรือเมตาโบลิซึมเพิ่มขึ้นใหม่ที่จะนำมาเป็นข้ออ้างในการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ซัลไฟต์ ส่วนกลุ่มคนที่ตอบสนองไวต่อซัลไฟต์นั้นก็ยังได้รับอันตรายแตกต่างกันไปในแต่ละคน (ประสาร สวัสดิ์ชีตัง, 2538)

Zhao และ Chang (1995) ได้ศึกษาผลของซัลไฟต์ต่อบีตา-แคโรทีนในแครอทอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา โดยแปรความเข้มข้นของโซเดียมไบซัลไฟต์เป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.05 และ 0.2 % (w/v) พบว่า ปริมาณบีตา-แคโรทีนในตัวอย่างที่แช่สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 0.2% จะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 0.05% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากซัลไฟต์มีสมบัติในการเป็นแอนติออกซิแดนท์จึงช่วยให้บีตา-แคโรทีนคงตัว แต่ผลของซัลไฟต์ในการป้องกันการสูญเสียบีตา-แคโรทีนยังขึ้นกับระดับของซัลไฟต์ด้วย

2. การอบแห้ง

การอบแห้งแครอทในทางอุตสาหกรรมมีอยู่ 3 วิธี (บุรฉิน รัตนสมบัติ, 2533) ได้แก่

1. ทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (Air Drying Method)
2. ทำแห้งโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ (Microwave Heating Method)
3. ทำแห้งโดยวิธี Freeze - Drying

วิธีแรกเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการทำแครอทอบแห้ง เนื่องจากค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีที่ 2 และที่ 3 เครื่องทำแห้งแบบลมร้อนที่นิยมใช้ในทางการค้ามีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น เครื่องทำแห้งแบบต่อเนื่อง, tunnel dryer, bin dryer, และการใช้ tunnel dryer ร่วมกับ bin dryer (Luh และ woodroof,1977) ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน โดยใช้พัดลมเป่าอากาศร้อนผ่านไปยังอาหารพาเอาไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหารออกไป อากาศร้อนอาจจะได้จากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดหรืออาจใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อนก็ได้ (Barbosa-C'anovas และ Vega-Mercado, 1996)

ปัญหาของเครื่องอบแห้งแบบนี้อยู่ที่การกระจายของลมร้อนซึ่งมักจะไม่ทั่วถึงทำให้อาหารที่จุดต่างๆแห้งไม่เท่ากัน อาหารที่บริเวณทางเข้าของลมร้อนจะแห้งมากกว่าอาหารที่อยู่บริเวณทางออกอาจแก้ไขได้โดยการกลับทิศทางการไหลของลมร้อน (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์,2540)

อัตราการทำแห้งด้วยลมร้อนขึ้นอยู่กับสมบัติหลายประการ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของอากาศร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิว ความชื้นของอาหาร สัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร อุณหภูมิที่ผิวของชิ้นอาหาร และอัตราการสูญเสียความร้อนจากอาหาร ขนาดของชิ้นอาหารก็มีความสำคัญเนื่องจากอาหารชิ้นขนาดเล็กจะมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าและช่วงระยะทางที่ไอน้ำจะต้องผ่านชิ้นอาหารออกมาสั้นกว่า ดังนั้นอาหารชิ้นเล็กจะมีอัตราเร็วในการทำแห้งสูงกว่า

ในการอบแห้งอาหารจะมีช่วงของการอบแห้งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราเร็วคงที่และช่วงอัตราเร็วลด ช่วงอัตราเร็วคงที่จะเกิดขึ้นเป็นอันดับแรกโดยช่วงนี้จะเป็นการระเหยของน้ำที่ผิวของอาหาร เมื่อทำการอบแห้งจนความชื้นของอาหารต่ำกว่าความชื้นวิกฤตอัตราการทำแห้งจะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งมีอัตราการทำแห้งที่ต่ำมาก อัตราการทำแห้งช่วงนี้จะเรียกว่าช่วงอัตราเร็วลด (falling rate period) ซึ่งจะเป็นการระเหยของน้ำจากภายในชิ้นอาหาร การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในชิ้นอาหารจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อัตราการระเหยของน้ำในช่วงนี้จึงลดลง ดังนั้นในช่วงอัตราเร็วลดนี้หากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงเกินไปผิวหน้าของแครอทซึ่งแห้งและต้องสัมผัสกับความร้อนโดยตรงจะมีลักษณะแห้งแข็งในขณะที่ภายในยังนิ่มอยู่ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเหี่ยวย่นและภายในชิ้นอาหารจะมีลักษณะเป็นโพรง (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) และในช่วงนี้อัตราการถ่ายเท

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มวลสารจะเริ่มมีบทบาทควบคุมอัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลสารนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศร้อนและความหนาของชิ้นอาหารและเนื่องจากการหดตัวของอาหารจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นของอากาศร้อนที่ใช้และจากอัตราการแพร่ผ่านของความชื้นในส่วนต่างๆ ของชิ้นอาหารที่ต่างกัน การเปลี่ยนแปลงหรือเสียหายของอาหารเนื่องจากความร้อนจึงมักจะเกิดในช่วงอัตราเร็วลดนี้ ดังนั้น จึงต้องมีการลดอุณหภูมิในการอบแห้งให้ต่ำลงเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพอาหาร (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2535)

Luh และ Woodroof (1977) ได้บันทึกไว้ว่าแครอทรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกและเคลือบด้วยสารละลาย corn starch 2.5 % แล้วอบแห้งจะมีอายุการเก็บสูงกว่าแครอทอบแห้งที่ผ่านการลวก และ treat ด้วยซัลไฟต์ 4-6 เท่า และสำหรับการอบแห้งควรจะทำเป็น 2 ขั้น โดยขั้นแรกใช้อุณหภูมิสูงกว่าช่วงหลัง 5°C โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 70°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ใน tunnel ลดความชื้นจาก 88% เป็น 8% ขั้นที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ใน drying bin ลดความชื้นจาก 8% เป็น 4%

3. การเก็บรักษาแครอทอบแห้ง

การเก็บรักษาแครอทอบแห้งต้องใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้น ออกซิเจน และแสงได้ ตัวอย่างเช่นกระป๋องโลหะ หรือ ฟิล์มพลาสติกบางชนิด หรือฟิล์มพลาสติกซึ่งลามิเนทกับฟอยล์ นอกจากนั้น อุณหภูมิที่เก็บและความชื้นภายในอาหารก็มีผลต่ออายุการเก็บอีกด้วย

Goldman , Horev และ Saguy (1983) พบว่า ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียบีตา-แคโรทีน และมีผลให้สีของอาหารซีดจางลง ในขณะที่ water activity(a_w) ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้การสูญเสียบีตา-แคโรทีนลดลง

นอกจากนั้น Lee , Chang และ Yam (1992) พบว่า a_w มีผลต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์ในพริกแห้ง โดยที่ a_w สูงจะสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนไว้ได้มากกว่า แต่เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานตัวอย่างที่มี a_w สูงกว่า 0.4 จะเกิดปัญหาจาก nonenzymatic browning ได้

การเสื่อมเสียส่วนใหญ่ของผักอบแห้งเกิดจาก (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืน
2. ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี และไทอามีน
3. ออกซิเดชั่นของรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นที่ยอมรับ
4. ปฏิกิริยา nonenzymatic browning ทำให้สีคล้ำ แข็ง และเกิดการสูญเสียโปรตีน