บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 พืชผัก

พืชผักที่นำมารับประทานนั้นมีหลายชนิด ทั้งที่มีชื่อเรียกว่า "ผัก" นำหน้า เช่น ผักกาดขาว ผักกาดหอม ผักบุ้ง ผักชี ผักกาดเขียวปลี เป็นต้น และที่ไม่มีคำว่า "ผัก" นำหน้า เช่น มันฝรั่ง มะเขือเทศ แตงกวา ฟักทอง ถั่วลันเตา ถั่วฝักยาว เป็นต้น รวมทั้งพืชอื่นๆที่ไม่ได้จัดเป็นผัก แต่สามารถนำมาใช้บริโภคเป็นพืชผักได้ เช่น พืชไร่ ได้แก่ ใบปอกระเจา หรือไม้ผล ได้แก่ มะละกอดิบ มะม่วงดิบ รวมทั้งวัชพืชบางชนิด ได้แก่ ใบตำลึง ผักบุ้งไทย ผักกระเฉด ก็สามารถนำมาประกอบอาหารได้เช่นกัน ซึ่งการจำแนกพืชผัก (Vegetable Classification) นั้น สามารถจำแนกออกตามความแตกต่างได้ดังนี้ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2544)

1. จำแนกตามความแตกต่างด้านพฤกษศาสตร์ (Botanical classification) เป็นการแบ่งกลุ่มพืชผักออกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เช่น ใช้ลักษณะของราก ใบ ดอก ผล และเมล็ด

2. จำแนกตามสภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต (Classification based on hardiness) เป็นการแบ่งกลุ่มพืชโดยพิจารณาความสามารถในการทนทานต่อสภาพอากาศที่เหมาะแก่การเจริญเติบโต

3. จำแนกตามส่วนต่างๆของลำดับที่นำมาใช้เป็นอาหาร (Classification based on parts used) เป็นการแบ่งกลุ่มพืชผักออกตามส่วนต่างๆของพืชผักที่นำมาเป็นอาหาร

4. จำแนกตามความแตกต่างด้านการเพาะปลูกและบำรุงรักษา (Classification based on essential method of culture) เป็นการแบ่งกลุ่มพืชผักออกตามความแตกต่างด้านการเพาะปลูกและบำรุงรักษา

5. จำแนกตามฤดูกาล (Classification based on season) เป็นการแบ่งกลุ่มพืชผักตามช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชผักแต่ละชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 รงควัตถุในผักและผลไม้

ผักและผลไม้ต่างก็มีสีที่แตกต่างกัน เช่น ผักบางชนิดมีสีเหลือง บางชนิดมีสีเขียว ฯลฯ สีของผักเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้อาหารมองดูน่ารับประทาน เมื่อนำผักไปให้ความร้อน สีของผักก็จะเปลี่ยนไป ทำให้อาหารน่ารับประทาน สีของผักและผลไม้เกิดจากรงควัตถุ ดังนี้

2.2.1 คลอโรฟิลล์ เป็นเม็ดสีที่ให้สีเขียวแก่พืชอยู่ในคลอโรพลาสต์ ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช คลอโรฟิลล์จะดูดพลังงานจากแสงแดดไว้ เพื่อสร้างคาร์โบไฮเดรตจากน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คลอโรฟิลล์เป็นสารโมเลกุลใหญ่ ในพืชที่ใช้เป็นอาหาร คลอโรฟิลล์เอและบี ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับฮีโมโกลบินในเลือด แต่มีความแตกต่างคือ ฮีโมโกลบินมีเหล็ก แต่คลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียม เมื่อได้รับความร้อนไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้ง่าย จะได้สารที่ชื่อว่าฟีโอไฟตินซึ่งมีสีเขียวอมน้ำตาล เมื่อแมกนีเซียมถูกแทนที่แล้วจะเติมแมกนีเซียมกลับเข้าไปในโมเลกุลอีกได้ยาก แต่การเติมเกลืออาซีเตด ของเหล็กสังกะสีและทองแดง จะช่วยให้สีเขียวสดใหม่ แต่วิธีนี้ไม่ใช้กันในการหุงต้มผัก คลอโรฟิลล์ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นน้ำต้มผักใบเขียวจึงมีสีเขียวเพียงเล็กน้อย คลอโรฟิลล์ที่บริสุทธิ์สามารถถูกทำลายด้วยไขมัน เมื่อใส่ผักใบเขียวลงในน้ำเดือด จะมีสีเขียวสดและดูใสขึ้นในช่วงแรก ต่อมาจะกลายเป็นสีอมเหลือง เนื่องจากตอนแรกอากาศซึ่งแทรกอยู่ระหว่างเซลล์จะร้อนขึ้นและถูกดันออกมา จึงเห็นสีของคลอโรฟิลล์ได้ชัดขึ้น ต่อมาเซลล์ของผักจะแตก สารที่อยู่ในแวคิวโอลรวมทั้งกรดอินทรีย์จึงแพร่ออกไปทั่วเซลล์ และละลายในน้ำต้มผัก คลอโรฟิลล์ถูกกรดแปรเป็นฟีโอไฟตินสีเขียวอมน้ำตาล เม็ดสีเลืองและสีแสดที่อยู่ในเซลล์ สีเหล่านี้รวมทั้งฟีโอไฟติน ทำให้เห็นผักเป็นสีเขียวอมเหลือง (กรณภาพร พินิจดี และธัญญรัตน์ แสนคำ, 2546)

2.2.2 ฟลาโวนอยด์ เม็ดสีหลายชนิดจัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยมีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน อาจแบ่งฟลาโวนอยด์ออกเป็นกลุ่ม 3 กลุ่มคือ แอนโธซาตินซึ่งมีสีเหลืองนวล แอนโธไซยานินซึ่งมีสีม่วงแดง และแทนนินที่ไม่มีสีแต่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ง่าย (กรณภาพร พินิจดี และธัญญรัตน์ แสนคำ, 2546)

2.2.3 แคโรทีนอยด์ คือเม็ดสีเหลืองแสดที่ละลายในไขมัน ในผักใบเขียวพบแคโรทีนอยด์อยู่ในคลอโรพลาสต์ซึ่งมีคลอโรฟิลล์อยู่ด้วย สีเขียวของคลอโรฟิลล์จะกลบสีเหลืองของแคโรทีนอยด์จนมองไม่เห็น แคโรทีนอยด์เป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือแคโรทีน และเบต้าแคโรทีน แคโรทีนมีคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากเป็นโปรวิตามินเอ ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอที่ลำไส้เล็ก การหุงต้มธรรมดาไม่มีผลต่อสีหรือคุณค่าทางอาหารของแคโรทีนอยด์ แคโรทีนอยด์ไม่ละลายน้ำจึงช่วยป้องกันไม่ให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ แต่เนื่องจากโมเลกุลของแคโรทีนอยด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่อิ่มตัว จึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย เมื่อทิ้งให้ถูกอากาศนานๆจะทำให้สูญเสียวิตามินเอได้ และทำให้แคโรทีนอยด์ในอาหารตากแห้งเปลี่ยนสี ปฏิกิริยานี้ป้องกันได้โดยการลวกผัก และรมควันกำมะถันหรือคลุกด้วยซัลไฟท์ ก่อนนำผักผลไม้นั้นๆไปตากแห้ง (กรณภาพร พินิจดี และธัญญรัตน์ แสนคำ, 2546)

2.3 ชนิดของผัก

2.3.1 ฟักทอง(Pumpkin, Cushaw, Winter Squash)

ฟักทองมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucurbita moschata* Decne. เป็นพืชในตระกูล Cucurbitaceae เช่นเดียวกับ แตงกวา แตงร้าน ฟักแฟง มะระ บวบ แตงโม แคนตาลูป มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกากลาง นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในเอเชีย ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา แอฟริกา และแถบแคริบเบียน เนื่องจากมีราคาถูก ทั้งยังอุดมด้วยเบต้าแคโรทีน ซึ่งร่างกายสามารถเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอได้ นอกจากนี้เมล็ดฟักทองยังอุดมด้วยธาตุเหล็กและฟอสฟอรัสรวมทั้งมีโพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีอีกด้วย (ระพีพรรณ ใจภักดี, 2544)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของฟักทอง มีดังนี้ (สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 จังหวัดเชียงใหม่, 2548)

1.) ลำต้นเป็นไม้เถาล้มลุก ลำต้นแข็งปานกลาง กลมหรือเหลี่ยม มือเกาะมี 3-4 แขนง

2.) ใบเป็นใบเดี่ยวเรียงสลับกัน ขอบใบหยัก เว้าเป็นแฉก ตื้น ๆ ปลายใบมน มีขนทั้งสองด้าน แผ่นใบรูปกลม โคนใบเว้าเป็นรูปหัวใจ

3.) ดอกเป็นดอกเดี่ยวออกตามง่ามใบ ดอกตูมปลายแหลม ดอกตัวผู้และตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน กลีบดอกสีเหลืองอมส้ม กลีบรองกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูประฆังปลายแยกเป็น 5 กลีบ

4.) ผล รูปร่างกลมแป้น เป็นพูเล็กๆ รอบผล ผิวไม่แข็ง สีเขียวเข้มอมน้ำเงิน หรืออมเทา เนื้อสีเหลืองหรือเหลืองอมเขียวหรือสีส้มเข้ม ตรงกลางฟูพรุน เมล็ดมีจำนวนมาก

2.3.2 มันเทศ (Red Sweet Potato, Yam)

มันเทศ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatus* Lank. เป็นพืชหัวในตระกูล Convolvulaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกากลาง เป็นพืชอาหารของมนุษย์และสัตว์ นิยมนำมาทำเป็นอาหาร โดยใช้ทั้งหัว เถา ใบ และยอดอ่อน มาประกอบอาหารทั้งคาวและหวาน เช่น แกงเลียง แกงคั่ว และทำไส้ขนมต่างๆ ในด้านอุตสาหกรรมมีการสกัดแป้งมันเทศเป็นส่วนผสมของอาหารเด็ก และกาว เป็นต้น นอกจากนี้มันเทศยังใช้เป็นอาหารสัตว์ได้หลายชนิด เช่น สุกร วัว ควาย กระต่าย เป็ด ไก่ และปลา เป็นต้น มันเทศเป็นพืชหัวที่ประกอบด้วยแป้งเป็นหลัก มีอยู่สองชนิด คือ ชนิดเนื้อเหลืองส้มกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดเนื้อครีม ทั้งสองชนิดเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินซี โพแทสเซียม และแคลเซียม รวมทั้งใยอาหาร นอกจากนั้นยังอุดมด้วยเบต้าแคโรทีน (จำลอง เจียมจำนรรจา, 2527)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันเทศ มีดังนี้ (จำลอง เจียมจำนรรจา, 2527)

1.) ลำต้นเป็นไม้ล้มลุก ลำต้นเลื้อยบนดินหรือตั้งตรง ค่อนข้างเป็นเหลี่ยมหรือทรงกระบอก ถ้าต้นอ่อนจะมีขนอ่อนปกคลุม เมื่อแก่จะเรียบ มีรูเล็กอยู่ทั่วไป มียางขาว

2.) รากเป็นรากฝอยเกิดจากข้อของลำต้นที่ใช้ปลูก หรือจากข้อลำต้นที่เลื้อยทอดไปตามผิวดิน หัวจะเจริญเติบโตใต้ผิวดิน รูปร่างเล็กเรียวยาว หรือกลม ผิวหัวเรียบหรือหยาบขรุขระ มีรากแขนงอยู่ที่หัว

3.) ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่กว้างหรือรูปกลม ขอบเรียงเป็นแฉกมี 3-5 แฉก โคนใบรูปหัวใจหรือตัดผิวใบทั้งสองด้านเกลี้ยงหรือมีขนกระจาย ก้านใบยาว ด้านบนเป็นร่อง โคนก้านโป่งเล็กน้อย มีต่อมน้ำหวานอยู่ตรงส่วนก้านใบติดแผ่นใบ

4.) ดอกออกเป็นช่อตามง่ามใบ ก้านช่อดอกแข็ง และยาวกว่าก้านใบ ดอกมีก้านดอก มีกลีบรองดอกอยู่ฐานดอก ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 กลีบ ฐานเชื่อมติดกันเป็นหลอด ปลายแยกเป็น 5 แฉก กลีบดอก 5 กลีบ เชื่อมติดกันเป็นหลอดลักษณะเป็นรูปกรวยทรงสูง ปลายบานเหมือนปากแตร ภายในมีเกสรตัวผู้ 5 อัน ก้านและอับละอองเกสรจะมีสีขาว ยาวใกล้เคียงเกสรตัวเมีย ละอองเกสรตัวผู้มีขนาดเล็กมาก มีรังไข่

5.) ผลและเมล็ด ผลเป็นรูปไข่เมื่อแห้งจะแตก ผลหนึ่งมี 4 ช่องหรือน้อยกว่า เมล็ดเกลี้ยงมีขนาดเล็ก สีดำค่อนข้างแบน ด้านหนึ่งผิวเรียบ มีรูเล็กๆ อีกด้านหนึ่งเป็นเหลี่ยม มีเยื่อหุ้มเมล็ดหนามาก

2.3.3 พริกหวาน (Sweet Pepper หรือ Sweet Potato Bell Pepper)

พริกหวานมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum annuum* var *annuum* L. Grossum Group เป็นพืชในตระกูล Solanaceae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับมะเขือ มะเขือเทศ ยาสูบ และมันฝรั่ง พริกหวานมีหลายรูปแบบ มีรูปทรงคล้ายระฆัง มีทั้งสี่เหลี่ยมถึงหกเหลี่ยม เนื้อหนา มีหลายสีทั้งเขียว แดง เหลือง ส้ม น้ำตาล และม่วง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และความสุก นิยมเก็บเกี่ยวตอนกำลังเขียว มีรสชาติหวาน ไม่เผ็ด สามารถรับประทานสดในสลัด หรือนำมาผัดกับผักชนิดต่าง ๆ ให้สีสันน่ารับประทาน มีคุณค่าทางวิตามินเอ บี1 บี2 และซี รวมทั้งสารแคปไซซิน ช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือด โรคต้อกระจก และโรคมะเร็ง (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริกหวาน มีดังนี้ (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2546)

1.) ลำต้น ระยะแรกจะเป็นลำต้นเดี่ยว เมื่อติดดอกช่อแรกตรงยอดลำต้นเดี่ยว แล้วแตกกิ่งแขนงในแนวตั้งออกเป็นสองกิ่ง ทำให้กิ่งเพิ่มขึ้นตลอดฤดูการเจริญเติบโต ผลผลิตขึ้นอยู่กับจำนวนกิ่ง และจำนวนผลต่อต้น ระยะแรกจะเจริญเป็นกิ่งอ่อน และเปลี่ยนเป็นกิ่งแข็งเมื่อแก่

2.) ใบเป็นใบเดี่ยวเจริญสลับกัน ขนาดใบจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ใบพริกหวานจะใหญ่ เมื่อใบเจริญได้ 9-11 ใบ ดอกแรกจะเจริญ

3.) ราก เจริญเป็นแนวดิ่งลึก รากแตกแขนงแผ่กว้างออกด้านข้าง รากส่วนใหญ่อยู่อย่างหนาแน่น

4.) ดอกเป็นดอกเดี่ยวสมบรูณ์ มีกลีบดอกสีขาว 5 กลีบ บางพันธุ์จะมีสีม่วง เกสรตัวผู้แยกกัน มีจำนวน 5 อัน อับละอองเกสรจะมีสีม่วง ยอดเกสรตัวเมียบางพันธุ์อยู่เหนืออับเกสร ดอกสามารถเจริญได้ทั้งในสภาพช่วงแสงสั้น หรือช่วงแสงยาว

5.) ผล มีลักษณะกลมยาว ขนาดใหญ่ ผลประกอบด้วยสารแคบไซซิน ในปริมาณที่ต่ำมาก พริกหวานสีเขียวมีปริมาณความต้องการของตลาดสูง เมื่อปล่อยให้แก่บนต้นจะมีสีแดง พันธุ์ที่มีการปรับปรุง อาจจะเปลี่ยนเป็นสีแดง เหลือง ส้มหรือม่วง นิยมปลูกในโรงเรือน เนื่องจากอายุการเก็บนานกว่าสีเขียว

2.3.4 ผักบุ้งจีน (Water Convolvulus หรือ Kang-Kong)

ผักบุ้งจีนมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Var. reptans เป็นพืชในตระกูล Convolvulaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเอเชียเขตร้อน พันธุ์ผักบุ้งจีนที่ปลูกในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์การค้า ทั้งที่ผลิตเมล็ดพันธุ์ในประเทศไทยและนำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น ไต้หวัน ซึ่งมีการตั้งชื่อพันธุ์ตามบริษัทต่าง ๆ กันไป เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนในประเทศที่ได้รับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร คือ พันธุ์พิจิตร 1 ซึ่งมีลักษณะดีเด่น คือ ผลผลิตโดยเฉลี่ย 3,415 กิโลกรัมต่อไร่ มีใบแคบเรียวยาว ตรงกับความต้องการของตลาดและมีลักษณะใบชูตั้ง ลำต้นสีเขียวอ่อน ไม่มีการทอดยอดก่อนการเก็บเกี่ยว ไม่มีการแตกแขนงที่โคนต้น ลักษณะลำต้นสม่ำเสมอกัน ทำให้สะดวกและประหยัดแรงงานในการตัดแต่งใบและแขนงที่โคนต้นก่อนนำส่งตลาด (เฉลิมเกียรติ โภศาวัฒนา และภัสรา ชวประดิษฐ์. 2539)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักบุ้งจีน มีดังนี้ (เฉลิมเกียรติ โภศาวัฒนา และภัสรา ชวประดิษฐ์, 2539)

1.) ลำต้น เป็นไม้ล้มลุก ไม่มีมือเกาะ ช่วงแรกของการเจริญเติบโตจะมีลำต้นตั้งตรง ระยะต่อไปจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือน้ำ ลำต้นมีสีเขียว มีข้อและปล้องข้างในกลวง รากจะเกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ข้อทุกข้อที่สัมผัสกับพื้นดินหรือน้ำ ที่ข้อจะมีตาแตกออกมา ทั้งตาใบและตาดอก โดยตาดอกจะอยู่ด้านใน ส่วนตาใบจะอยู่ด้านนอก

2.) ราก ผักบุ้งจีนมีรากเป็นแบบรากแก้ว มีรากแขนง แตกออกทางด้านข้างของรากแก้ว และสามารถแตกรากฝอยออกมาจากข้อของลำต้นได้ด้วย โดยมักจะเกิดตามข้อที่อยู่แถว ๆ โคนเถา

3.) ใบ เป็นใบเดี่ยวเรียงตัวแบบสลับ มีขอบใบเรียบ รูปใบคล้ายหอกโคนใบกว้างค่อย ๆ เรียวเล็กไปตอนปลาย ปลายใบแหลม ที่โคนใบเป็นรูปหัวใจ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น

4.) ดอกและช่อดอก ดอกเป็นดอกสมบูรณ์ มีลักษณะเป็นช่อแบบ cymose มีดอกตรงกลาง 1 ดอก และดอกด้านข้างอีก 2 ดอก โดยดอกกลางจะเจริญก่อน แต่ละดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 อัน กลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูปกรวย ด้านนอกมีสีขาว ด้านในมีสีม่วง มีการผสมเกสรเป็นแบบผสมตัวเอง และมีการผสมข้ามดอกบ้างเนื่องจากลมและแมลง ดอกช่อเกิดที่ซอกใบ ดอกย่อยจะมีก้านดอกยาว ดอกมีใบประดับ รูปร่างยาวปลายแหลมรองรับ กลีบเลี้ยงรูปไข่ ปลายกลีบมีติ่งแหลม ผิวกลีบเรียบ กลีบดอกติดกันเป็นรูประฆัง ปลายกลีบสีขาว กลางกลีบและโคนกลีบมีสีชมพูหรือม่วง กลีบยาว ผิวกลีบเรียบ กลางกลีบแต่ละกลีบมีร่องเล็กๆตามยาว ปลายกลีบเว้าหยักเล็กน้อย เกสรเพศผู้ 5 อันติดบนกลีบดอก ฐานก้านชูอับเรณูมีขนปกคลุม เกสรเพศเมีย 1 อัน มีรังไข่เป็นแบบ superior ovary ผิวเรียบ

5.) ผลและเมล็ด ผลเดี่ยวรูปร่างค่อนข้างกลมมีขนาดใหญ่หลังดอกบาน หลังจากนั้นขนาดจะเล็กลง ลักษณะผิวภายนอกเหี่ยวย่น ขรุขระ ไม่แตก เมื่อแห้งหรือแก่จะมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม ใน 1 ผลมีเมล็ด 4-5 เมล็ด แต่ละเมล็ดมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมฐานมน มีสีน้ำตาล เปลือกหุ้มเมล็ดมีสี 3 ระดับ คือ สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ และสีน้ำตาลดำ ซึ่งมีขนาดเล็ก

2.3.5 ตำลึง (Ivy Gourd)

ตำลึง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coccinia grandi* voigt. เป็นในตระกูลผัก Cucurbitaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตำลึงเป็นพืชที่ขึ้นง่าย พบเห็นอยู่ตามที่ต่าง ๆ ทั่วไป ตำลึงมีใบสีเขียวไม่มีขน ดอกสีขาว ผลสีเขียว พอแก่จะเป็นสีส้มและสีแดงจัด เป็นผักที่มีรสหวานกลิ่นหอมอร่อย ยอดและใบอ่อนนำมาประกอบอาหารได้หลายอย่าง (ระพีพรรณ ใจภักดี, 2544),

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ตำลึง มีดังนี้ (ดาราวรรณ ทวีศักดิ์วรกุล, 2549)

1.) ลำต้น เป็นไม้เถาวัลย์ล้มลุก มีมือเกาะไม่แตกแขนง เจริญปีนป่ายขึ้นบนต้นไม้ข้างเคียง ยาวถึง 15 เมตร กิ่งอ่อนกลม สีเขียว มีขนปกคลุมเล็กน้อย ต้นแก่สีเทา รากสะสมอาหารเป็นหัวเดี่ยวยาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.) ใบ เป็นใบเดี่ยวเรียงตัวแบบสลับ คล้ายรูปฝ่ามือหรือรูปพัด โคนใบเป็นร่องรูปหัวใจ แผ่นใบเว้าลึกเป็นร่อง ปลายใบแหลม ผิวและขอบใบเรียบ ก้านใบกลมยาว ก้านใบและขอบใบอ่อนมีขนปกคลุมเล็กน้อย

3.) ดอก เป็นดอกเดี่ยว เกิดที่ซอกใบ ดอกแยกเพศและแยกต้นตัวผู้ต้นตัวเมีย ก้านดอกยาว สีเขียวเล็กเรียว ฐานรองดอกรูปกรวย กลีบเลี้ยง 5 กลีบ แยกกัน สีขาวแกมเขียว กลีบเล็กเรียว ปลายแหลมสีน้ำตาล อ่อน กลีบดอกสีขาว ติดกันเป็นรูประฆัง ตอนปลายแยกเป็น 5 กลีบ มีร่องสีเขียวตามยาวกลีบ ปลายกลีบแหลม ด้านในกลีบดอกมีขนสีขาวละเอียดปกคลุม ดอกเพศผู้จะมีเกสร 3-4 อัน เป็นกระจุกอยู่กลางดอก ก้านชูอับเรณูอวบน้ำ อับเรณูสีเหลือง เป็นร่องหยักไปมา ดอกเพศเมียมีก้านดอกใหญ่กว่าดอกเพศผู้ เกสรเพศเมีย 1 อัน รังไข่จะมีสีเขียวอ่อน ติดอยู่ใต้ฐานรองดอก ผิวจะมีลายสีเขียวขาวตามยาว ก้านเกสรตัวเมียยาว ตอนปลายแยกเป็นแฉก ยอดเป็นริ้วสีขาวเหลือง มีปุ่มหรือขนใสๆ แต่ละอันมีออวุลจำนวนมาก

4.) ผลและเมล็ด ผลสด รูปทรงกระบอก ฐานมน ปลายมนหรือค่อนข้างแหลม ผลแก่จัดมีสีแดงสด เมล็ดแบนรูปรีจำนวนมาก

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของฟักทอง พริกหวาน มันเทศ ตำลึง และผักบุ้งจีน ต่อน้ำหนัก 100 กรัม

คุณค่าอาหาร	ฟักทอง	ตำลึง	ผักบุ้งจีน	พริกหวาน	มันเทศ
พลังงาน	50 กิโลแคลอรี	28 แคลอรี	23 แคลอรี	26 กิโลแคลอรี	115 แคลอรี
ไขมัน	- กรัม	0.4 กรัม	0.3 กรัม	- กรัม	- กรัม
คาร์โบไฮเดรต	12.5 กรัม	4.2 กรัม	2.4 กรัม	- กรัม	27.1 กรัม
เส้นใย	0.8 กรัม	1.0 กรัม	0.9 กรัม	1.4 กรัม	0.8 กรัม
โปรตีน	1.4 กรัม	4.1 กรัม	2.7 กรัม	1.3 กรัม	1.2 กรัม
แคลเซียม	27 มิลลิกรัม	126 มิลลิกรัม	51 มิลลิกรัม	12 มิลลิกรัม	36 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	43 มิลลิกรัม	30 มิลลิกรัม	31 มิลลิกรัม	- มิลลิกรัม	56 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.6 มิลลิกรัม	4.6 มิลลิกรัม	3.3 มิลลิกรัม	0.9 มิลลิกรัม	0.9 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	2458 IU	18,075 IU	6,536 IU	3,001 IU	2,800 IU
วิตามินบี 1	0.09 มิลลิกรัม	0.17 มิลลิกรัม	0.02 มิลลิกรัม	0.07 มิลลิกรัม	0.12 มิลลิกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

คุณค่าอาหาร	ฟักทอง	ตำลึง	ผักบุ้งจีน	พริกหวาน	มันเทศ
วิตามินบี 2	0.06 มิลลิกรัม	0.13 มิลลิกรัม	0.14 มิลลิกรัม	0.08 มิลลิกรัม	0.05 มิลลิกรัม
วิตามินซี	- มิลลิกรัม	48 มิลลิกรัม	- มิลลิกรัม	103 มิลลิกรัม	30 มิลลิกรัม
ไนอะซิน	1.0 มิลลิกรัม	3.8 มิลลิกรัม	- มิลลิกรัม	0.8 มิลลิกรัม	0.6 มิลลิกรัม

ที่มา ระพีพรรณ ใจภักดี (2544), นิพนธ์ ไชยมงคล (2546)

2.4 สารผักหรือสารพฤกษเคมี (phytonutrient หรือ phytochemical)

พืชผักประกอบด้วยสาร 2 ประเภทใหญ่ๆคือ สารอาหาร (Nutrient) ได้แก่ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ และส่วนที่ไม่ใช้สารอาหาร (None-nutrient) ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมีที่พืชสร้างขึ้น ที่ไม่ใช่ทั้งวิตามินและเกลือแร่ เช่น ฟลาโวตินอยด์ ไกลโคไซด์ หรือแคโรทีนอยด์ เป็นต้น ส่วนที่ไม่ใช่สารอาหารนี้เรียกว่า สารผักหรือสารพฤกษเคมี (phytonutrient หรือ phytochemieal) จัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยเสริมการทำงานของวิตามิน สารผักจะต้องทำงานร่วมกันหลายๆ ชนิดจึงเกิดประสิทธิภาพสูงสุด การได้รับเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งจะไม่ได้ผลที่ดีพอ จึงควรบริโภคพร้อมกันหลายๆ ชนิด เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย

ในอดีตนักวิทยาศาสตร์เข้าใจว่าสารผักเหล่านี้เป็นสารสร้างสี กลิ่น รส เท่านั้น ไม่ได้ให้ประโยชน์แต่อย่างไร เมื่อความรู้ด้านโภชนาการเพิ่มมากขึ้น และเครื่องมือวิเคราะห์ทันสมัยขึ้น สารเคมีพืชเหล่านี้เป็นสารอาหารกลุ่มใหม่ที่เรียกว่าสารผัก หรือ "พฤกษเคมี" ซึ่งสกัดจากส่วนใบ ก้านหรือลำต้น ราก ดอก และผลของพืช ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆคือ

1.) สารประเภท Pyrrolizidine Alkaloids, Nicotine และ Hydrazine Derivatives เป็นกลุ่มที่มีพิษ และไม่เหมาะที่นำมาใช้

2.)สารประเภท Morphine, Digitalis และ Vinca Alkaloids อาจมีพิษแต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรักษา แต่ต้องอยู่ภายใต้การดูแลของแพทย์

3.) สารที่ใช้ในการยับยั้ง ป้องกันโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดแข็ง (Atherosclerosis) และโรคติ่งเนื้อ (Diverticular disease) ซึ่งแบ่งเป็นเส้นใยที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ได้แก่ celluloids, pectins และ lignins และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น carotenoids, dithiothiones, flavonoids, indole carbinoids, isothiocyanates, mono และ triterpenoids และ thioallyl derivatives

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารที่ได้จากพืชนี้ไม่สามารถทำงานโดยลำพัง จะต้องทำงานร่วมกันกับสารเคมีชนิดอื่นๆ ในพืชชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกัน และวิธีที่ใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด คือ การรับประทานในรูปของผักสดๆ และเลือกรับประทานผักหลายๆชนิด ที่มีสีสันแตกต่างกัน ทั้งสีเขียวแก่ เขียวเข้ม สีส้ม เหลือง แดง ม่วง น้ำเงิน โดยพิจารณาจากกลิ่นและรสชาติ อย่างไรก็ตามแม้จะนำไปผ่านความร้อน สารเหล่านี้ก็ยังคงเหลืออยู่ เนื่องจากทนความร้อน จึงไม่ถูกทำลายได้ง่าย

2.5 แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

แคโรทีนอยด์เป็นสารพฤกษเคมี ที่มีประโยชน์ในการการยับยั้ง และป้องกันโรค ที่มีเป็นเม็ดสีที่กำหนดสี และเพิ่มสีสันให้กับผักผลไม้ เราสามารถแบ่งตามชนิดของสีได้ 4 กลุ่ม คือ (นิภา ใจเรือน, 2546)

1. สีม่วง ได้แก่ กะหล่ำม่วง มะเขือม่วง มันเทศม่วง เชอร์รี่ และองุ่นม่วงหรือแดง จะมีทั้งเบต้าแคโรทีน และไลโคฟีน

2. สีแดง เช่น แตงโม พริกแดง กระเจี๊ยบ และมะเขือเทศ จะมีไลโคฟีน

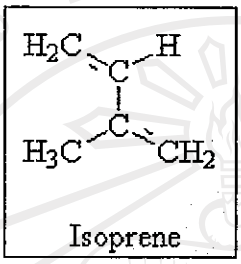
3. สีส้ม ได้แก่ ฟักทอง แครอท มะละกอ และส้ม จะมีเบต้าแคโรทีน

4. สีเขียว ได้แก่ ผักใบเขียวต่างๆ เช่น ผักกาดหอม ถั่วแขก ถั่งลันเตา และแตงกวา ผักเหล่านี้จะมีทั้งเบต้าแคโรทีน ลูทีน และซีแซนทิน

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบจำพวกไขมัน ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในน้ำมันหรือไขมันและตัวทำละลายที่ไม่มีสภาพนำไฟฟ้า เช่น ไซโคลเฮกเซน แคโรทีนอยด์อยู่รวมกับคลอโรฟีลล์ มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ พบมากในดอกไม้ ผลไม้สุก หรือใบไม้ที่แก่จวนจะร่วง ซึ่งไม่ได้มีบทบาทในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรง แต่เป็นตัวรับพลังงานจากแสงแล้วส่งต่อให้กับคลอโรฟีลล์ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอีกต่อหนึ่ง หากพืชชนิดใดมีเฉพาะแคโรทีนอยด์อยู่เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีคลอโรฟีลล์ พืชนั้นจะสังเคราะห์แสงเองไม่ได้ เพราะหน้าที่ของแคโรทีนอยด์มีเพียงรับพลังงานจากแสงแล้วส่งต่อให้คลอโรฟีลล์เท่านั้น การสังเคราะห์แสงไม่สามารถเกิดที่โมเลกุลของแคโรทีนอยด์ เพราะเกิดพลังงานไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังมีอยู่ในพลาสติดรูปอื่นๆ เช่น โครโมพลาสต์ ที่อยู่ในส่วนต่างๆของพืชที่มีสี เช่น ดอกไม้สีเหลือง หัวแครอท ผลมะเขือเทศสุก เป็นต้น นอกจากในพืชแล้ว ยังอาจมีอยู่ในเซลล์ของสัตว์ได้ เช่น ในเซลล์ที่มีสีชมพูของกุ้ง เป็นต้น (รุจิกรณ์ พัฒนจันทร์, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

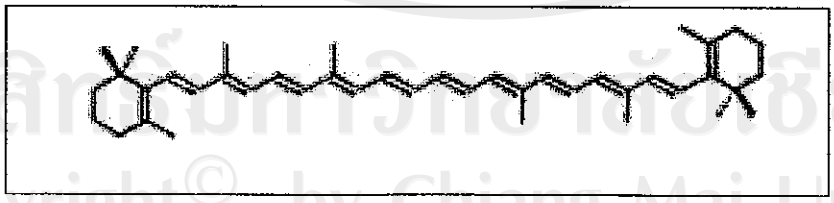
แคโรทีนอยด์เป็นไอโซพรีนอยด์โพลีอีน ซึ่งสร้างจาก C_5 ไอโซพรีน มีโครงสร้างพื้นฐานทางเคมี 3 ตัว คือ ไอโซเพนทิล ไพโรฟอสเฟต และไอโซพรีน จะมีลักษณะโครงสร้างเป็น traterpene โดยมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ไอโซพรีนที่อยู่ในองค์ประกอบนี้ จะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าไอโซพรีนอยด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดสีและกลิ่นในแคโรทีนอยด์ (รูปที่ 2.1) (วีระ วีระกุล และวุฒิชัย ศรีวิกรานต์โยธิน, 2546)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ isoprene
ที่มา Helmenstine (2003)

แคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามโครงสร้างทางเคมีได้ 2 กลุ่ม คือ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

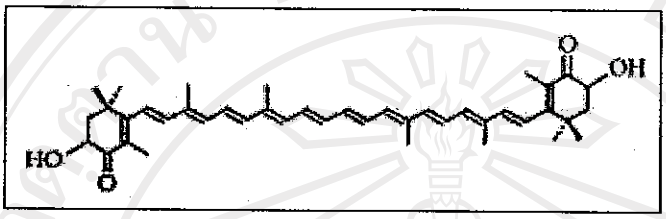
1. กลุ่มที่เป็นไฮโดรเจนคาร์บอน (Hydrocarbon Carotenes) โครงสร้างจะประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม กับไฮโดรเจนอะตอม มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{40}H_{56}$ เป็นสารไม่มีขั้วไม่ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ แต่สามารถละลายในไขมัน เอธิลอีเทอร์และคลอโรฟอร์ม แคโรทีนอยด์กลุ่มนี้ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน ลูทีน และไลโคฟีน เป็นต้น สามารถถูกสังเคราะห์ต่อไปเป็นวิตามินเอในร่างกายของสัตว์ได้ พบได้ในพืชและสาหร่ายทุกชนิด จะมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแคโรทีนอยด์ที่เป็นไฮโดรเจนคาร์บอน
ที่มา วีระศักดิ์ สามี (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. กลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล (Oxygenated Xanthophlls) เป็นกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่อนุพันธ์ที่ประกอบด้วยออกซิเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งจะมีหมู่ไฮดรอกซิล เมทอกซิล คีโต หรือ อีพอกซี รวมเรียกว่า แซนโทฟิลล์ ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในเอธิลแอลกอฮอล์ และเอธิลอีเทอร์ พบในพืชโดยทั่วไป เช่น ข้าวโพด พริกแดง มะละกอสุก ส้ม และสาหร่ายทุกชนิด มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่2.3 โครงสร้างแคโรทีนอยด์ที่มีออกซิเจนในโมเลกุล

ที่มา วีระศักดิ์ สามี (2005)

สีของแคโรทีนอยด์จะผันแปรตามจำนวนพันธะคู่ ยิ่งมีพันธะคู่จำนวนมาก สีจะมีสีแดงเข้ม ทำให้ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เช่น ในพืช สาหร่ายและแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ (Green sulphur bacteria และ Purple sulphur bacteria) อาจอยู่ในรูปของ cis หรือ trans แต่ในอาหารจะอยู่ในรูป all trans เสียส่วนใหญ่ ซึ่งจะมีสีเข้ม เมื่อเปลี่ยนเป็น cis มากขึ้นสีจะซีดลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของแคโรทีนอยด์คือ แสง ความร้อน และกรด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

2.5.1 เบต้าแคโรทีน (Beta-carotene)

เบต้าแคโรทีน ($C_{40}H_{56}$) เป็นหนึ่งในไอโซเมอร์ของแคโรทีน ซึ่งพบในธรรมชาติ 3 ไอโซเมอร์ คือแอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน และแกมมาแคโรทีน โดยเบต้าแคโรทีนเป็นชนิดที่พบมากที่สุด คือประมาณร้อยละ 85 ของทั้งหมด ซึ่งจะเป็นผลึกของสารสีแดงไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกายแล้ว เบต้าแคโรทีนจะแตกตัวให้วิตามินเอที่ตับ ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ นอกจากจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างวิตามินเอแล้ว เบต้าแคโรทีนยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาสุขภาพและเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง และทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสะสมไว้ที่ผิวหนัง ซึ่งเบต้าแคโรทีน จะทำปฏิกิริยาต้านการเกิดอ๊อกซิเดชั่นระหว่างอนุมูลอิสระกับสารสำคัญในเซลล์ที่มีชีวิต โดยแย่งทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระก่อน แล้วขับถ่ายออกไปตามระบบขับถ่ายต่างๆของร่างกาย เซลล์จึงรอดจากกระบวนการทำลายโดยอนุมูลอิสระ

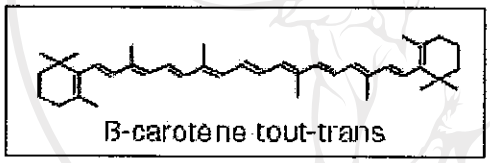
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังกล่าว เรียกกระบวนการในการแย่งทำปฏิกิริยาของเบต้าแคโรทีนกับอนุมูลอิสระว่า การต้านปฏิกิริยาอ๊อกซิเดชั่น หรือเอนตี้อ๊อกซิแด้น (Antioxidants) แต่มีรายงานว่า แอลฟาแคโรทีน ซึ่งอยู่ในกลุ่มแคโรทีน มีฤทธิ์เป็นแอนตี้ออกซิเดนท์สูงกว่าเบต้าแคโรทีน แต่จะมีฤทธิ์เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วเท่านั้น (สุธาทิพย์ ภมรประวัติ, 2548)

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีน

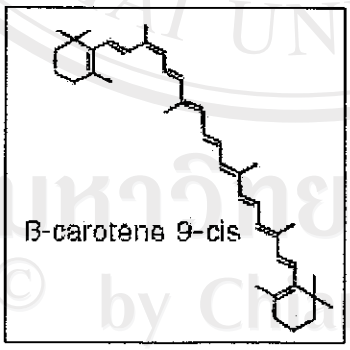
2.6.1. ความร้อน

เบต้าแคโรทีนในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูป trans (รูปที่ 2.4) หากได้รับแสง และมีความร้อน หรือรังสีโครงสร้างเกิดการบิดตัว 180 องศา เปลี่ยนเป็นรูป cis (รูปที่ 2.5) ซึ่งจะไม่เสถียร มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำ และมี molecular extinction coefficient ต่ำ สีจะจางลง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Thermal Isomerization ซึ่งจะเริ่มเกิดอย่างช้าๆที่อุณหภูมิ 60^{o}ซ โดยยังคงมีสูตรโมเลกุลเท่าเดิม (Lyn, 2000)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเบต้าแคโรทีนในรูป trans

ที่มา Lyn Patrick (2000)

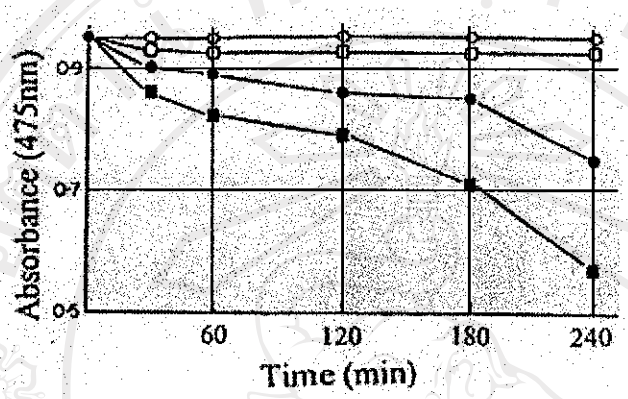


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเบต้าแคโรทีนในรูป cis

ที่มา Lyn Patrick (2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเบต้าแคโรทีนจากรูป trans เป็น cis นั้น จะเกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง มีผลทำให้เกิดการสูญเสียเบต้าแคโรทีน ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะมีผลมากกว่าระยะของการให้ความร้อน จากการทดลองของ Kearsley และ Rodriguez (1981) แสดงให้เห็นว่า เบต้าแคโรทีนมีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50°ซ (รูปที่ 2.6) จึงไม่ควรใช้ความร้อนแบบ High temperature short time (HTST)ในการแปรรูปอาหาร



รูปที่ 2.6 ผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนที่ปริมาณเริ่มต้น 40 มก./100มล.
โดย ○ = 20°ซ, ● = 75°ซ, □ = 50°ซ และ ■ = 100°ซ

ที่มา Kearsley และ Rodriguez (1981)

จากการศึกษาผลของกรรมวิธีการให้ความร้อนระหว่าง การต้มแบบดั้งเดิม การต้มแบบนำไฟฟ้า และการใช้ไมโครเวฟนึ่ง ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม รวมทั้งปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เหลือ พบว่า ในบรอคโคลี่ แครอท ถั่วเขียว และมันเทศ พบว่าการนึ่งด้วยไมโครเวฟนั้น ผักมีกลิ่นที่รุนแรง เนื้อสัมผัสแน่น และมีความคงตัวมากกว่าการต้มแบบดั้งเดิม หรือการต้มแบบนำไฟฟ้า ขณะที่ปริมาณของแอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน และลูทีนที่เหลือในตัวอย่างผักที่ทำให้สุกโดยการต้มแบบดั้งเดิม การต้มแบบนำไฟฟ้า และการนึ่งด้วยไมโครเวฟไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลือในบรอคโคลี่และมันเทศ นอกจากนี้การใช้ไมโครเวฟนึ่งมีผลทำให้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเหลือน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการต้มแบบดั้งเดิมและการต้มแบบนำไฟฟ้า ขณะที่การต้มด้วยการนำไฟฟ้านั้น ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเหลือมากที่สุด จากผลด้านคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และปริมาณสารแคโรทีนอยด์ที่เหลือหลังการให้ความร้อนสรุปได้ว่าการต้มแบบนำไฟฟ้าให้ผลดีกว่าการต้มแบบดั้งเดิมหรือการนึ่งด้วยไมโครเวฟ (Num, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร่วมมือกันระหว่างสถาบัน CIP (Centro Internacional De La Papa) และสถาบัน MRC (Medical Research Council) ในการศึกษาผลของความร้อนต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในมันเทศพันธุ์สีส้ม ซึ่งเป็นอาหารหลักที่ใช้การเพิ่มปริมาณวิตามินเอในเด็กในประเทศแอฟริกาใต้ เพื่อหาวิธีการให้ความร้อน ที่รักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนให้คงเหลือมากที่สุด เพื่อนำไปปฏิบัติในโรงเรียนต่อไป ซึ่งเมื่อใช้ HPLC ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง พบว่า การต้มแบบปิดฝา ในเวลา 20 นาที มีปริมาณเบต้าแคโรทีนเหลือมากกว่าทั้งการต้มแบบไม่ปิดฝา ใช้เวลานาน 30 นาที โดยใช้ปริมาณน้ำเท่าๆกัน และการต้มแบบปิดฝา ในเวลา 20 นาทีเท่ากัน แต่ใช้น้ำในการต้มน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง

ยังมีการศึกษา Provitamin A activity โดยคำนวณจากปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักกินใบทั้ง 3 ชนิดได้แก่ Serralha , Celery และ Mint ซึ่งผัก 3 ชนิดนี้ ถูกนำไปให้ความร้อนโดยการต้ม และการใช้ไมโครเวฟ ในเวลา 10 และ 7 นาทีตามลำดับ พบว่า ใบ Serralha สดมีค่า Provitamin A activity สูงที่สุดในผักทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำไปให้ความร้อนโดยการต้ม และการใช้ไมโครเวฟ พบว่าค่า Provitamin A activity ในใบ Serralha จะลดลง ร้อยละ 21 และ 20 ตามลำดับ ส่วนในใบ Celery จะลดลงร้อยละ 11 และ 26 ตามลำดับ สำหรับในใบ Mint นั้นค่า Provitamin A activity เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.53 หลังนำไปต้ม และเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ถ้าให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ (Almeida, Vanderlinde และ Sasaki, 2000)

มีการศึกษาในผักสีเขียว ได้แก่ คะน้า ถั่วเขียว บรอคโคลี่ และผักกาดฝอยก้านแข็ง ทั้งในรูปผักสดและผักที่ได้รับความร้อน เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แคโรทีนอยด์ที่เหลืออยู่ และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ พบว่าบรอคโคลี่ต้มมีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลง เนื่องจากมีการดูดซึมน้ำระหว่างต้ม ทำให้สารเจือจาง ถ้านำบรอคโคลี่ คะน้า และผักกาดก้านแข็งไปผัด ปริมาณเบต้าแคโรทีนจะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับถั่วเขียว ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นทั้งการต้ม และการผัด แต่ไม่สามารถคำนวณหาค่าที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากสารแคโรทีนอยด์มีปริมาณต่ำ (de Sá และ Rodriguez-Amaya, 2004)

จากการศึกษาที่กล่าวข้างต้น เป็นการใช้บรอคโคลี่ทั้งต้นหรือหั่นรวมกัน จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติม โดยทำการแยกส่วนดอกและก้านของบรอคโคลี่ แล้วนำไปให้ความร้อนโดยการต้ม และการใช้ไมโครเวฟ พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งส่วนดอกและก้านลดลง โดยส่วนดอกที่นำไปต้มในเวลา 30 , 60 , 90 , 120 และ 300 นาที จะมีการสูญเสียร้อยละ 2.7, 12.0, 14.4, 17.1 และ 22.9 ตามลำดับ และในส่วนของก้านที่นำไปต้มในเวลา 60, 120 และ 300 นาที มีการสูญเสียร้อยละ 10, 20 และ 20 ตามลำดับ ในส่วนดอกหลังให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงอย่างต่อเนื่อง คือเมื่อได้รับความร้อนในเวลา 120 และ 300 นาที จะลดลงร้อยละ 17.3 และ 22.7 ตามลำดับ และส่วนก้านจะลดลง ร้อยละ 20 ทั้ง 2 ช่วงเวลา สรุปได้ว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดอกลดลงถึงร้อยละ 76.2 ในช่วง 60 นาทีแรก เนื่องจากเบต้าแคโรทีนในดอกจะสูญเสียได้ง่ายกว่าส่วนของก้าน (Zhang และ Hamauzu, 2004)

การศึกษาที่กล่าวมาส่วนใหญ่เป็นการทดลองนอกทวีปเอเชีย ซึ่งมีสภาพแวดล้อม อากาศ และรสนิยมการเลือกรับประทานผักที่ต่างกัน จากการศึกษาของภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยนานาชาติสิงคโปร์ ในตัวอย่างผักที่มีในสิงคโปร์ และมาเลเซียจำนวน 11 ชนิด ซึ่งนำไปต้มที่อุณหภูมิประมาณ 96°ซ นาน 3 นาที พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงหลังทำให้สุก ยกเว้นใบของ Nasturtium officinale และ Raphanus sativus มีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างใบสดและตัวอย่างที่ทำให้สุกโดยการต้ม แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิเย็น พบว่าใบ Capsicum annum มีอัตราส่วนของแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ในตัวอย่างที่เก็บไว้หลังทำให้สุกเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์คงที่หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Ong และ H'ng, 2004)

ในประเทศไทยมีการศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักนั้นน้อยมาก งานส่วนใหญ่จะเขียนถึงประโยชน์ของผักผลไม้ โดยปริมาณที่แสดงมักอยู่ในรูปผักสดหรือผักดิบ มีเพียงรายงานของกองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร ซึ่งได้รายการว่าผักบุ้งส่วนที่รับประทาน 100 กรัม พบว่าเมื่อทำให้สุก คุณค่าอาหารจะลดลง โดยวิตามินเอลดลงจาก 9550 ลดเหลือ 6750 หน่วยสากล (เฉลิมเกียรติ์ โภคาวัฒนา และภัสรา ชวประดิษฐ์, 2539)

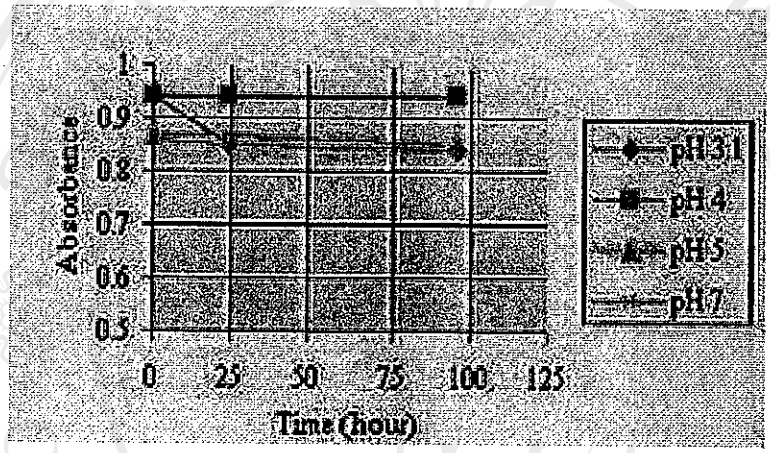
กล่าวได้ว่าการทำให้ผักสุกด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การต้ม การเคี่ยว การทอด และการใช้ความดัน มีผลทำให้สูญเสียเบต้าแคโรทีนระหว่างกระบวนให้ความร้อน การทอดจะทำให้สูญเสียค่อนข้างต่ำ ขณะที่การต้มแบบธรรมดาไม่มีผลต่อสีของแคโรทีนอยด์ เนื่องจากเป็นความร้อนระดับต่ำ ส่วนการลวกนั้นแทบไม่ทำให้มีการสูญเสียเลย เนื่องจากมีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดสูญเสียแคโรทีนอยด์มากขึ้น ซึ่งการทำให้สุกนั้นมีผลทำให้ผนังเซลล์อ่อน ทำการสกัดได้ง่ายขึ้น แต่ในบางครั้งการทำงานร่วมกับน้ำ อาจมีการสร้างโครงสร้างใหม่ที่เสื่อมสภาพระหว่างให้ความร้อน และอาจทำให้สกัดแคโรทีนอยด์ได้ยากขึ้น

จากการศึกษาในผักชีลาว โดยแยกลวกส่วนใบและก้าน ใช้เวลา 0.5 และ 3 นาที เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการไม่ลวกและการลวก พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์รวมและเบต้าแคโรทีน ในใบและก้านไม่แตกต่างกันเลย ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา จึงยังไม่สามารถที่จะสรุปได้ว่าการปรุงอาหารหรือการทำให้สุกวิธีไหน มีผลต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์มากกว่ากัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของผักก็เป็นได้ (Lisiewska, Kmiecik และ Slupski, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2. ความเป็นกรด-ด่าง

ในสภาพความเป็นกรด จะทำให้เบต้าแคโรทีนเปลี่ยนเป็น epoxide isomer เกิดจากการจับตัวของออกซิเจนกับพันธะคู่ในวงแหวนของโครงสร้าง เกิดเป็น 5,6-epoxide สีจะจางลง ซึ่งจะเสถียรในสภาพความเป็นด่าง จากการทดลองของ Kearsley และ Rodriguez (1981) พบว่าเบต้าแคโรทีน มีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และมีความคงตัวในอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 2-7 (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนที่อุณหภูมิ 7°ซ
ที่มา Kearsley และ Rodriguez (1981)

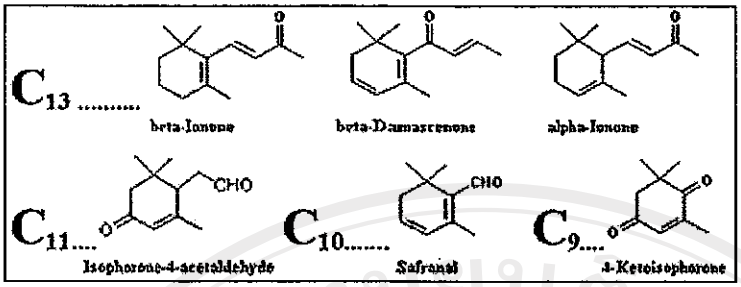
2.6.3. ออกซิเจน

เมื่อเบต้าแคโรทีนสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศที่ตำแหน่งพันธะคู่ โดยคาร์บอนจะสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมออกไป เกิดเป็นสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิล และสารระเหย เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Direct oxidation แต่การสูญเสียไม่ได้ขึ้นกับออกซิเจนเพียงอย่างเดียว ยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มของแสง และความร้อน (รุจิกรณ์ พัฒนจันทร์, 2546)

2.6.4. แสงสว่าง

แสงมีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรส การเกิดจะรุนแรงมากน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในอากาศ กลิ่นที่เป็นส่วนประกอบแคโรทีนอยด์ คือ C_{13}-C_{11}- C_{10}- และ C_9 ได้จากปฏิกิริยา Photo-oxidation และ Enzymatic oxidation ของแคโรทีนอยด์ในพืช ดอกไม้ และผลไม้ ตัวอย่างส่วนประกอบกลิ่นที่พบในธรรมชาติ แสดงในรูปที่ 2.8 (Leffingwell, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 โครงสร้างส่วนที่ให้กลิ่นของแคโรทีนอยด์ที่พบในพืช

ที่มา Leffingwell (1985)

นอกจากนี้การสลายตัวตัวเนื่องจากแสง (Photodegradation) ของเบต้าแคโรทีนในพืช จากผลการศึกษาพบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมากระหว่างการเพิ่มของ cis-isomer กับเวลาที่สัมผัสกับแสง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะน้อยลง เมื่อสารมีความอิ่มตัวมากขึ้น การสูญเสียจะลดลงด้วยการใช้สารแอนตี้ ออกซิแดนซ์ (Antioxidant) (วีระ วีระกุล และวุฒิชัย ศรีวิกรานต์โยธิน, 2546)

2.6.5. การปนเปื้อนของโลหะ

อิออนในโลหะ จะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา oxidation ทำให้แคโรทีนอยด์เสื่อมสภาพ และถ้ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวร่วมด้วย การเสื่อมสลายจะยิ่งเร็วขึ้น (รุจิกรณ์ พัฒนจันทร์, 2546)

2.6.6. กรดไขมันไม่อิ่มตัว

พันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation เรียกว่า co-oxidation ซึ่งเป็นปฏิกิริยา Indirect oxidation (รุจิกรณ์ พัฒนจันทร์, 2546)

2.6.7. น้ำ

น้ำจะทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ดีขึ้น หากเอาน้ำออกไปบางส่วนเอนไซม์จะทำงานลดลง ถ้าไม่มีน้ำหรือกำจัดน้ำออกไปหมด อาหารมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากขึ้น แต่ถ้าน้ำในอาหารเหลือน้อยเกินไป เอนไซม์ก็จะกลับมามีประสิทธิภาพมากขึ้น เซลล์เกิดความเสียหายและตาย เอนไซม์ยังทำปฏิกิริยากับสารที่เกิดออกซิเดชั่นได้ง่าย ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ (รุจิกรณ์ พัฒนจันทร์, 2546)

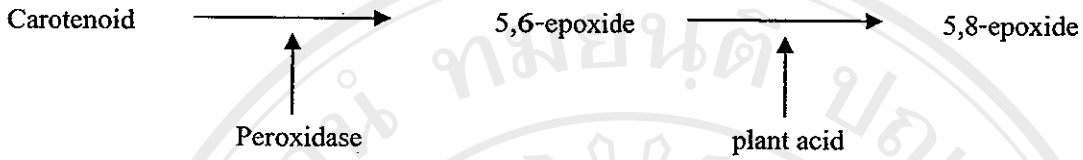
2.6.8. เอนไซม์

การสูญสลายของแคโรทีนอยด์จะเกิดขึ้นในเซลล์ และจะเกิดในรูปของ pigment-protein complex ซึ่งมีความเสถียรมาก และเอนไซม์สามารถทำลายโครงสร้างนี้ได้ ทำให้ความคงตัวของแค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โรทีนอยด์ลดลง เกิดการสลายตัว ซึ่งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ มีดังนี้ (รุจิกรณ์ พัฒนจันทร์, 2546)

1. เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จะไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงในแคโรทีนอยด์ ดังนี้



การเสื่อมสภาพทางอ้อม คือการเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน ทำให้แคโรทีนอยด์เกิดออกซิเดชั่นตามไปด้วย

2. เอนไซม์ไลปอกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่ทำให้ไขมันเกิดอนุมูลอิสระ และตัวอนุมูลอิสระนี้จะไปทำปฏิกิริยากับแคโรทีนอยด์

3. เอนไซม์ไลโปเปอร์ออกซิเดส จะทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ เมื่อมีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ไลปอกซิเดส หรือเกิดจากปฏิกิริยา Enzymatic oxidation

นอกจากปัจจัยต่างๆที่กล่าวมานั้น ภูมิอากาศโดยเฉพาะในเขตร้อน มีส่วนเพิ่มการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ แต่ในสภาพเดียวกันอาจเร่งการสลายตัวระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากหลังการเก็บเกี่ยวยังจะมีการสังเคราะห์สารอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องเก็บรักษาไม่ให้ถูกกระทบกระเทือน หรือไม่ทำให้เอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ถูกยับยั้ง และไม่ควรเก็บในที่มีอุณหภูมิสูง

2.7 ผลของความร้อนต่อลักษณะทางกายภาพของผัก

ความร้อนมีส่วนสำคัญที่ทำให้การเปลี่ยนแปลง สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสในพืชผัก จากการศึกษาผลของความร้อนต่อสี และลักษณะเนื้อสัมผัสในผัก 3 ชนิด คือ หัวบีท บรอคโคลี่ และแครอท

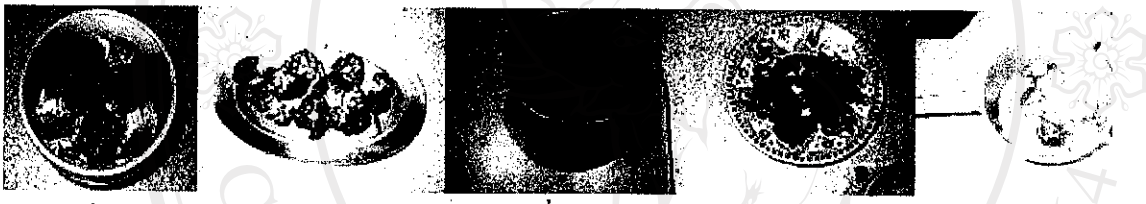
เมื่อนำหัวบีทไปให้ความร้อนโดยการย่าง ผัดในน้ำมัน ต้ม และนึ่งในเวลา 8, 5, 10 และ 10 นาที ตามลำดับ หลังได้รับความร้อนสี และลักษณะของหัวบีทเปลี่ยนไปดังรูป 2.9 (Kay และคณะ, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดิบ ย่าง ผัด ต้ม นึ่ง

รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบลักษณะปรากฏของหัวบีทก่อนและหลังทำให้สุก
ที่มา Kay et. al. (1998)

เมื่อนำบรอคโคลี่ไปให้ความร้อนโดยการย่าง นึ่ง ผัดในน้ำมัน และต้มในเวลา 10, 10, 5 และ 8 นาที ตามลำดับ หลังได้รับความร้อนสี และลักษณะของบรอคโคลี่เปลี่ยนไปดังรูป 2.10



ดิบ ย่าง นึ่ง ผัด ต้ม

รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบลักษณะปรากฏของบรอคโคลี่ดิบ และหลังทำให้สุก
ที่มา Kay et. al. (1998)

เมื่อนำแครอทไปให้ความร้อนโดยการต้ม ย่าง และนึ่ง ในเวลา 8 , 5 และ 10 นาที ตามลำดับ หลังได้รับความร้อนสี และลักษณะของแครอทเปลี่ยนไปดังรูป 2.11

ดิบ ต้ม ย่าง นึ่ง

รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบลักษณะปรากฏของแครอทดิบ และหลังทำให้สุก
ที่มา Kay et. al. (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปการทำให้ผักสุก เช่นการนึ่ง และการต้มที่อุณหภูมิไม่รุนแรงมาก หรือมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อย ผักจะสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิเดิม สีของผักเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยสีของผักจะสว่างกว่าผักดิบ ขณะที่การย่างและการผัด สีของผักจะคล้ำลง และขนาดของผักจะหดตัว เนื่องจากสูญเสียความชื้น ทำให้มองเห็นเป็นสีน้ำตาลหรือดำ เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวนี้จะเกิดที่อุณหภูมิ 157^{o}ซ (315^{o}ฟ) ขึ้นไป ขณะที่การต้มหรือนึ่งนั้นอุณหภูมิอยู่ที่ 100^{o}ซ (212^{o}ฟ) เท่านั้น (Kay et. al., 1998)

กรณีของแครอท ความร้อนระดับพลาสเจอร์ไรท์ และการต้มไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเบต้าแคโรทีน แต่ความร้อนช่วยเพิ่ม Bioactivity ของสาร เนื่องจากผนังเซลล์อ่อนตัว จนกระทั่งความร้อนสูงขึ้นอยู่ในระดับสเตอร์ริไรซ์ ทำให้เกิดการเรียงตัวใหม่ของโครงสร้าง เกิดการเปลี่ยนแปลง activity และสีจางลง

2.8 การเก็บรักษาผัก

การเก็บรักษาผักจะต้องเก็บให้เหมาะสมกับชนิดของผักนั้นๆ ซึ่งผักสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามเกณฑ์ระยะเวลาการเน่าเสียของผักดังนี้ (เกษตรพลิกพื้นชาติ, 2545)

1. ผักที่เน่าเสียง่าย ได้แก่ เห็ด ผักชี ผักกาดหอม ถั่วงอก ถั่วฝักยาว ผักบุ้ง ชะอม เป็นต้น ผักเหล่านี้จะคงสภาพเดิมอยู่ในระยะเวลาสั้น แม้จะเก็บเข้าตู้เย็นก็ไม่อาจจะช่วยยืดอายุการเก็บได้มากนัก

2. ผักที่เก็บได้ในระยะเวลาจำกัด ตัวอย่างเช่น ผักกาด ผักคะน้า มะเขือเทศ และผักอื่นๆ ผักส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในกลุ่มนี้ ซึ่งควรเก็บในตู้เย็น

3. ผักที่เก็บไว้ได้นานกว่าผักอื่นๆ เช่น ฟัก แฟง เผือก มัน ฟักทอง เป็นต้น ผักกลุ่มนี้มีเปลือกหนา จึงคงทนต่อการเก็บได้นานกว่าผักใบ ไม่จำเป็นต้องเข้าตู้เย็น

การเก็บผักนั้นควรแยกเก็บตามชนิดของผัก ไม่ควรเก็บผักและผลไม้ให้อยู่ด้วยกัน เพราะทำให้เกิดการเน่าหรือเสื่อมสภาพเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น ถ้าเก็บหอมใหญ่กับมันฝรั่งให้อยู่ปนกัน หอมใหญ่จะเป็นตัวเร่งให้มันฝรั่งเน่าเร็วขึ้น ถ้าเก็บแอปเปิ้ลไว้กับแครอท แก๊สเอ็ททีลีน (ethylene gas) ที่แอปเปิลคายออกมาจะทำให้แครอทมีรสขมได้ ดังนั้นจึงควรเก็บผักแต่ละชนิดโดยแยกกันเป็นสัดส่วน การป้องกันออกซิเจน แสง และใช้อุณหภูมิต่ำ ช่วยลดการสูญเสียเบต้าแคโรทีนระหว่างการเก็บได้ ซึ่งการแช่เย็นทำให้คุณค่าอาหารเปลี่ยนแปลง หรือลดลงน้อยมาก แต่การทำให้สุกแล้วทำให้เย็นทันทีนั้น มีการสูญเสียเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาโดยนำผักสดที่ซื้อมาใหม่ เปรียบเทียบกับผักที่เก็บในตู้เย็น พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน เพราะการทำให้อุณหภูมิลดลงนั้น มีผลทำให้ผักยังคงสภาพเดิมอยู่ โดยไม่ทำให้น้ำหรือองค์ประกอบในอาหารแปรสภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 การสกัดแยกสารสำคัญจากพืช

ในการสกัดแยกสารสำคัญที่ต้องการศึกษาออกจากเนื้อเยื่อพืชผักนั้น สิ่งที่ควรทราบก็คือแหล่งที่มาของพืชที่นำมาสกัด การสกัดควรทำในขณะผักยังสดอยู่ เนื่องจากให้ผลตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด ถ้าทำไม่ได้ ก็ควรระบุว่าพืชที่นำมาสกัดนั้นผ่านวิธีการใดมาบ้าง (สุภาภรณ์ ครัดทัพ, 2535)

การแยกสารสี (Pigment) ออกจากเนื้อเยื่อพืชจะต้องใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการแยกสารสี มีดังนี้คือ เลือกใช้ตัวทำละลายที่ดี มีจุดเดือดพอเหมาะกับสภาพอากาศ ไม่ระเหยง่าย หรือยากเกินไป ไม่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่ต้องการสกัด ไม่เป็นพิษ และมีราคาพอสมควร จากคุณสมบัติดังกล่าว จะเห็นได้ว่าน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด แต่น้ำมีขีดจำกัดในการละลายสารอินทรีย์มาก จึงไม่เหมาะที่จะใช้สกัดสารประเภทสารอินทรีย์ เช่น สารแคโรทีนอยด์ ดังนั้นตัวทำละลายที่เหมาะสมน่าจะเป็น Hexane, Ethanol, Chloroform, Methanol, Benzene หรือ Petroleum ether เป็นต้น (สุภาภรณ์ ครัดทัพ, 2535) นอกจากการเลือกใช้ตัวทำลายแล้ว เทคนิคในการสกัดก็มีส่วนสำคัญ ซึ่งมีวิธีต่างๆดังนี้

2.9.1 การสกัดสารจากพืช แบ่งได้ 3 วิธี (อ้อมบุญ ล้วนรัตน์, 2536)

1.) Maceration เป็นวิธีสกัดสารในตัวทำละลาย โดยทิ้งสารไว้ในตัวทำละลายเป็นเวลาพอสมควร แล้วจึงกรองออก โดยอาจทำการสกัดซ้ำจนได้สารออกมาทั้งหมด

2.) Percolation เป็นวิธีการหมักและสกัดสารอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Percolator โดยทำการหมักสารกับตัวทำละลายที่เหมาะสม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วแยกสารสกัด วิธีนี้ต้องคอยเติมตัวทำละลายตลอดเวลา จนการสกัดสมบูรณ์

3.) Continuous Extraction เป็นการสกัดอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Soxhlet Apparatus ซึ่งเป็นการสกัดที่มีความร้อนร่วมด้วย

2.9.2 การทำให้สารบริสุทธิ์

เทคนิคการทำให้สารบริสุทธิ์ที่ใช้มาก คือ การแยกชั้น (Partition) โดยทำให้เกิดการแยกชั้นแล้วทำให้สารซึ่งละลายในตัวทำละลายถูกสกัดออกมา เช่น นำสารไปสกัดด้วยน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งสารที่ไม่มีขั้วจะถูกแยกออกมาอยู่ในตัวทำลาย เครื่องมือที่นิยมนำมาใช้คือ กรวยแยก (separatory funnel) ซึ่งการสกัดที่สมบูรณ์นั้นจะต้องเกิด emulsion น้อยที่สุด

2.9.3 การกรอง

การกรองมี 2 วิธี ดังนี้ (อ้อมบุญ ล้วนรัตน์, 2536)

1. การกรองโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง เป็นวิธีที่นิยมมาก อุปกรณ์ที่ใช้คือ ขวดรูปชมพู่ กรวยกรอง และกระดาษกรอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.การกรองโดยอาศัยสูญญากาศ นิยมใช้ในตัวอย่างที่มีตะกอน หรือมีอนุภาคละเอียดมาก อุปกรณ์ที่ใช้คือ ขวด Buchner กรวยแยก กระดาษกรอง ท่อ suction และจุกยาง

2.9.4 การดูดซับน้ำ หรือความชื้น

การสกัดสารในน้ำด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ มักมีน้ำตกค้างบ้างไม่มากก็น้อย การแยกน้ำออกมา ทำได้โดยการเขย่ากับสารดูดซับน้ำ เช่น สาร โซเดียมซัลเฟต แล้วทิ้งไว้สักครู่ ควรทำก่อนการแยกโดยการกรอง

2.9.4 การทำให้สารละลายเข้มข้น

การทำให้สารละลายเข้มข้นนั้น สามารถทำได้โดยนำไประเหยในตู้ดูดควัน อังด้วยอ่างไอน้ำ หรือเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ

แม้ว่าแคโรทีนอยด์เป็นสารสีหรือรงควัตถุที่ไม่เสถียร ถูก oxidize ได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศ แต่ก็สามารถทำการสกัดได้ในห้องทดลองภายใต้ภาวะปกติ โดยไม่มีการสูญเสียสารสี ถ้าทำการสกัดในที่มืด (สุภาภรณ์ ครัดทัพ, 2535)

วิธีการสกัดสารแคโรทีนอยด์ในผักผลไม้ ใช้วิธีการ และชนิดของตัวทำลายที่ความแตกต่างกันดังนี้ (Taungbodhitham และคณะ, 1998)

1.วิธีของ AOAC, 1984 ใช้ตัวอย่างหนัก 2-5 กรัม สกัดด้วย Hexane : Acetone (6:4) ปริมาณ100 ซีซี ใช้เวลา 5 นาที

2.วิธีของ AOAC, 1984 ใช้ตัวอย่างหนัก2-5 กรัม สกัดด้วย Hexane : Ethanol (3:4) ปริมาณ 140 มล. ใช้เวลา 5 นาที

3.วิธีของ Folch et al., 1957 ใช้ตัวอย่างหนัก 2 กรัม สกัดด้วย Chloroform : Methanol (2:1) ปริมาณ 34 มล.

4.วิธีของ Chen et al., 1981 ใช้ตัวอย่างหนัก 2 กรัม สกัดด้วย Dichlomethane : Methanol (1:1) ปริมาณ 34 มล.

5.วิธีของ Hara and Radin, 1978 ใช้ตัวอย่างหนัก 2 กรัม สกัดด้วย Hexane : Isopropanol (3:2) ปริมาณ 36 มล.

6.วิธีของ Hsieh and Karel, 1983 ใช้ตัวอย่างหนัก 2-5 กรัม สกัดด้วย Acetone : Petroleum ether (50:50)

จากวิธีข้างต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์ที่วัดได้พบว่า วิธีที่ 2 เป็นวิธีที่ให้ค่าดีที่สุด และตัวทำลาย Hexane:Ethanol มีอันตรายจากการสกัดต่ำ สามารถใช้สำหรับวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ในผักผลไม้ได้ผลดีและถูกต้อง สามารถนำไปใช้กับวัตถุดิบได้หลากหลายชนิด เช่น น้ำมะเขือเทศกระป๋อง แครอท และผักโขม เป็นต้น (Taungbodhitham และคณะ, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แม้จะได้วิธีที่เหมาะสม แต่ชนิดของตัวละลายอาจไม่เหมาะสมกับผักที่จะทำการสกัด นักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Estadual de Campinas ประเทศบราซิล ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบตัวทำละลาย ที่จะใช้ในการสกัดสารเบต้าแคโรทีนในมันเทศพันธุ์สีส้ม ด้วยวิธีสกัดที่เหมือนกัน แต่ใช้ชนิดของสารที่ใช้สกัดคือ Tetrahydrofuran : Methanol (1:1), Acetone หรือ Chloroform : Methanol (2:1) โดยใช้ HPLC ในการวิเคราะห์ พบว่า สารผสมระหว่าง Tetrahydrofuran และ Methanol มีประสิทธิภาพในการสกัดแคโรทีนอยด์ ทั้งในมันเทศดิบและต้มมากกว่าตัวอื่นๆ โดยใช้สีหลังการสกัดเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในการสกัด พบว่า Tetrahydrofuran และ Methanol สามารถสกัดจนไม่เหลือสีของมันเทศ (Jaarsveld และคณะ, 2002)

นอกจากวิธีการสกัดที่เหมาะสม และตัวทำละลายที่ดีแล้ว วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารก็เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ จึงได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาปริมาณแคโรทีนในมันสำปะหลังด้วย Petroleum ether จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปวัดด้วยวิธี Colorimetric Method โดยใช้เครื่อง Ultraviolet Spectrophotometry เปรียบเทียบกับวิธี HPLC พบว่าวิธี Colorimetric จะวิเคราะห์ได้ในรูปของแคโรทีนรวม ขณะที่วิธี HPLC สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเบต้า และแอลฟาแคโรทีน และได้ผลรวมเฉลี่ยมากกว่าวิธี Colorimetric ร้อยละ 34 นอกจากนั้น HPLC ยังสามารถวัดเบต้าแคโรทีนในส่วนรากได้ถึงร้อยละ 93 ดังนั้นผลงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่จึงใช้วิธี HPLC ในการวิเคราะห์ เนื่องจากให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือราคาค่อนข้างแพง การวิเคราะห์ด้วย Ultraviolet Spectrophotometry โดยใช้ UV-visible spectrum มีข้อจำกัด เนื่องจากลักษณะสเปกตรัมที่ได้นั้นกว้างและขาดรายละเอียด (Centro Internacional de Agricultural tropical, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved