# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 วิตามินเอ

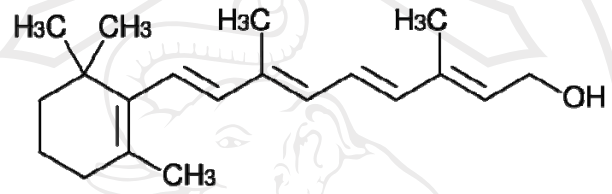
เมื่อ 1500 ปีก่อนคริสต์ศักราช มีการอธิบายกันไว้อย่างกว้างขวางในหมู่ชนชาวจีน อียิปต์ และกรีกว่าได้มีผู้สังเกตอาการของคนที่เป็นโรคตาฟางในเวลาพลบค่ำ (night blindness) ซึ่งไม่สามารถมองเห็นสิ่งของได้ในที่ๆ มีแสงสลัวว่าเกิดจากการขาดวิตามินเอ ปี ค.ศ.1904 Mori และ Monrad ได้ใช้น้ำมันตับปลารักษาโรคเยื่อตาอักเสบในเด็กชาวเดนมาร์ค มีการสันนิษฐานว่าเนื่องจากเด็กขาดสารบางอย่างที่ละลายในไขมัน เพราะเด็กไม่ค่อยได้รับประทานอาหารไขมันจากสัตว์นั่นเอง (ศิริวรรณ, 2527) ในปี ค.ศ.1912 Hopkins ได้เลี้ยงหนูด้วยอาหารบริสุทธิ์ ปรากฏว่าหนูเติบโตช้าแต่ถ้าเติมนมลงไปเล็กน้อยจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นปกติได้ ในเวลาไล่เลี่ยกัน Osborne และ Mendel ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของหนูโดยเลี้ยงด้วยอาหารบริสุทธิ์ร่วมกับไขมันชนิดต่างๆ ปรากฏว่า ถ้าใช้ไขมันจากน้ำมันหมูหรือน้ำมันพืชอัลมอนด์ หนูจะไม่เจริญเติบโต นัยน์ตาแห้งอักเสบ และเป็นหนอง แต่เมื่อเติมน้ำมันตับปลา ไขมันจากเนยหรือไข่แดงลงไปด้วย หนูจะเจริญเติบโตได้ดี และโรคนัยน์ตาก็หายไป แสดงว่า น้ำมันตับปลา ไขมันเนย และไข่แดง มีสารซึ่งรักษาอาการดังกล่าวได้ ในปี ค.ศ.1915 McCollum และ Davis ได้สกัดเนยและไข่แดงด้วยอีเทอร์ ได้สารสำคัญที่ช่วยทำให้หนูเจริญเติบโต และรักษาโรคนัยน์ตาแห้ง (Xerophthalmia) ได้ และตั้งชื่อว่า “Fat soluble A” การศึกษาต่อมาพบว่า ในพืชก็มีสารที่ออกฤทธิ์เหมือนวิตามินเอ ในที่สุด Moore ได้พิสูจน์ว่า บีตาแคโรทีนในพืช สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกาย ในปี ค.ศ.1942 Karer ได้พบสูตรโครงสร้างวิตามินเอ และบีตาแคโรทีน และปี ค.ศ.1947 Wald สามารถอธิบายบทบาทของวิตามินเอในแง่ของชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น (สมทรง, 2543)

### 2.1.1 สูตรเคมีและสมบัติ

วิตามินเอ (vitamin A) เป็นอนุพันธ์แอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง พบมากในรูปเอสเทอร์ของกรดไขมัน มีลักษณะเป็น long chain primary alcohol ที่มี isomeric form ได้หลายรูปแบบ ในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ *trans*-form ของเรตินอล (retinol) (ภาพ 2.1) วิตามินเอมีสีเหลืองอ่อน ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์และไขมัน ทนกรด ด่าง และความร้อน ซึ่งในการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประกอบอาหารหรือทำอาหารกระป๋องที่ใช้การพาสเจอไรเซชัน (pasteurization) สเตอริไลเซชัน (sterilization) หรือ ดีไฮเดรชัน (dehydration) จะทำให้สูญเสียวิตามินเอไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (สมทรง, 2543) แต่ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิสูง แสงอัลตราไวโอเลต หรือแสงแดด หรือเมื่อละลายอยู่ในน้ำมันที่เกิดการหืน (นิธิยา, 2545) ซึ่งน้ำมันที่เกิดการหืนนี้เนื่องจากมีสารเพอร์ออกไซด์เกิดขึ้นในน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่น้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ ซึ่งเป็นการเกิดออโตออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันลดลง และทำลายวิตามินต่างๆ ที่ละลายในไขมันและน้ำมัน (นิธิยา, 2548)

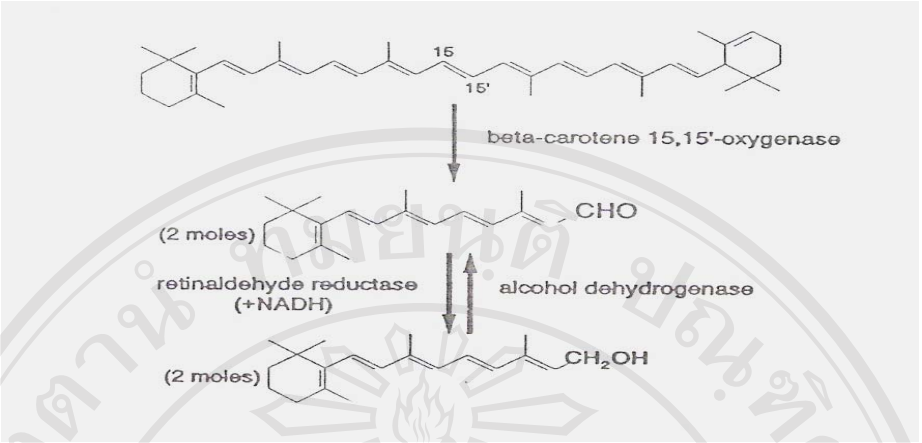



**ภาพ 2.1** สูตรโครงสร้างของเรตินอล
ที่มา : Wikimedia Foundation, Inc. (2008)

### 2.1.2 แหล่งที่พบ

วิตามินเอพบเฉพาะในสัตว์เท่านั้น เช่น น้ำมันตับปลา ตับ และไข่แดง เป็นต้น อาหารที่ได้จากพืชไม่มีวิตามินเอ แต่มีสารประกอบแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ที่ผนังลำไส้เล็ก ตับ และไต จึงเรียกแคโรทีนอยด์ว่าเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A) (ภาพ 2.2) แคโรทีนอยด์พบมากในพืชผักที่มีสีเขียวและสีเหลือง และผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้มแดง เช่น แครอท ฟักทอง มะละกอสุก มะม่วงสุก กล้วยไข่ มะเขือเทศ ใบคะน้า ใบยอ ใบตำลึง ชะอม พริกขี้หนู กระเพราแดง ใบชะพลู ใบขี้เหล็ก ผักบุ้งจีน ตั้งโอ๋ ผักบุ้งไทย และข้าวโพด แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟา (alpha-) บีตา (beta-) แกมมาแคโรทีน (gamma carotene) แคโรทีนอยด์ชนิดที่มีความสำคัญ ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน บีตาแคโรทีน บีตาคริปโตแซนธิน (beta-cryptaxanthin) ลูทีน (lutein) ไวโอลาแซนธิน (viokaxanthin) นีโอแซนธิน (neoxanthin) และไลโคพีน (lycopene) ซึ่งแคโรทีนอยด์ที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางและ มีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุด คือบีตาแคโรทีน อาหารแต่ละชนิดจะมีวิตามินเอและแคโรทีนอยด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน และความคงตัวจะแปรผันไปกับกระบวนการแปรรูป และภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหาร (นิธิยา, 2545; สมทรง, 2543; Zeb and Mehmood, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพ 2.2** การเปลี่ยนบีตาแคโรทีนเป็นวิตามินเอในร่างกาย
ที่มา : สมทรง (2543)

### 2.1.3 หน้าที่และประโยชน์

วิตามินเอมีความสำคัญสำหรับการมองเห็น การเจริญเติบโต การแบ่งแยกเนื้อเยื่อ ทำให้เนื้อเยื่อชนิดบุผิวที่มีอยู่บริเวณผิวหนังและเยื่อเมือกต่างๆ ทำงานได้ตามปกติ การบำรุงรักษาสุขภาพและการอยู่รอดของเด็ก อีกทั้งยังเพิ่มภูมิต้านทานให้กับร่างกายเพื่อให้ร่างกายสามารถต่อต้านการติดเชื้อและโรคต่างๆ ได้ บีตาแคโรทีนทำหน้าที่สำคัญในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยป้องกันการเกิดสารที่ออกซิไดส์ได้ง่าย เช่น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ (polyunsaturated fatty acids; PUFAs) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยสร้างเสริมความสมบูรณ์แก่ร่างกายทุกสัดส่วน ช่วยทำให้ร่างกายเกิดความสมดุล ช่วยควบคุมระบบการทำงานภายในร่างกายให้เป็นปกติ และยังต่อสู้กับสารที่เป็นผลให้เกิดอันตรายของอนุมูลอิสระ (free redicals) ในร่างกายด้วย ซึ่งจะเป็นการช่วยป้องกันโรคมะเร็งบางชนิดและโรคเรื้อรังอื่นๆ (ยุวดี, 2542; Fox and Cameron, 1995)

### 2.1.4 การขาดวิตามินเอ

การขาดวิตามินเอมี 2 ลักษณะคือ การขาดปฐมภูมิและการขาดทุติยภูมิ การขาดปฐมภูมิเกิดจากการได้รับวิตามินเอไม่เพียงพอ พบมากในเด็กทารกและเด็กเล็ก เนื่องจากวิตามินนี้ผ่านรกได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่แม่ตั้งครรภ์หรือให้นมบุตร ทารกจะมีวิตามินเอสะสมอยู่น้อย ถ้าไม่ได้รับอาหารเสริมที่มีวิตามินเอจะทำให้เกิดการขาดได้ การขาดวิตามินเอพบมากในเด็กก่อนวัยเรียนตามชนบทในประเทศไทยและประเทศที่กำลังพัฒนา ส่วนการขาดทุติยภูมิ อาจเกิดเนื่องจากภาวะที่มีการขัดขวางการดูดซึมหรือสะสมวิตามินเอ เช่น โรคตับและท่อน้ำดีอุดตัน หรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีการขัดขวางการเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ไปเป็นวิตามินเอ เช่น โรคเบาหวาน หรือไม่การเกิดโรคจะทำให้ร่างกายมีการสูญเสียวิตามินเอโดยรวดเร็ว เช่น นิวโมเนีย ไฮเปอร์ไธรอยลิสม ถูกไฟไหม้ หรือน้ำร้อนลวกร่างกายเป็นบริเวณกว้าง การขาดสังกะสีซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสที่เปลี่ยนเรตินอลไปเป็นเรตินาลในจอตา จะทำให้อาการตาฟางในที่สลัวไม่หายไป แม้จะให้วิตามินเอเข้าไปในปริมาณเกินพอแล้วก็ตาม (สมทรง, 2543) เมื่อขาดวิตามินเอ เยื่อบุผิวที่บริเวณตาจะได้รับผลกระทบโดยจะลดการทำงานของส่วนรับภาพในบริเวณจอตา ซึ่งจะมีผลให้มองเห็นไม่ชัดในที่มีแสงสลัว และจะทำให้เยื่อบุตาขาวแห้ง ย่น หรือเป็นรอยแผล และอาการจะรุนแรงยิ่งขึ้น คือ เยื่อบุกระจกตาหรือตาดำแห้ง กระจกตาขุ่นเหลวซึ่งหากไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงทีจะทำให้ตาบอดได้ นอกจากนี้การขาดวิตามินเอจะทำให้ภูมิต้านทานโรคลดลง ทำให้เกิดการรับและติดเชื้อได้ง่าย ซึ่งความผิดปกตินี้ครอบคลุมระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหารด้วย และยังทำให้เกิดความผิดปกติของฮอร์โมนที่ตอบสนองต่อความเครียด ตลอดจนเกิดปัญหาของการนำธาตุเหล็ก ไปใช้ในร่างกายซึ่งเป็นเหตุให้เกิดภาวะโลหิตจางรุนแรงยิ่งขึ้น เด็กที่ขาดวิตามินเอจะเจริญเติบโตช้าและไม่เจริญอาหาร หากป่วยด้วยโรคหัด โรคท้องร่วง หรือโรคติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจจะมีอาการรุนแรงกว่าปกติ และเมื่อเกิดโรคเหล่านี้ขึ้นยิ่งจะทำให้เกิดการขาดวิตามินเอรุนแรงขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่อาการตาบอดและอาจเสียชีวิต (ใกล้หมอ, 2537)

**2.1.5 สถานการณ์การขาดวิตามินเอและแนวทางการดำเนินงานควบคุมป้องกันในประเทศไทย**

ในปี พ.ศ. 2503 มีรายงานการสำรวจปัญหาการขาดวิตามินเอ พบว่าผู้ป่วยที่มีการขาดโปรตีนและพลังงานที่เข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลศิริราชและเชียงใหม่นั้นร้อยละ 25 ของผู้ป่วยเหล่านี้มีอาการขาดวิตามินเอ คือ มีกระจกตาเปื่อยและเป็นแผล (corneal ulcer) โดยรายงานนี้ได้ระบุว่า ปัญหาการขาดวิตามินเอสามารถพบได้ทั่วประเทศ (ไกรสิทธิ์, 2525)

ปี พ.ศ. 2533 กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข ได้สำรวจสถานการณ์การขาดวิตามินเอในเขตภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเด็กวัยก่อนเรียน (2-6 ปี) จำนวน 996 คน พบอาการตาบอดกลางคืนร้อยละ 1 นอกจากนี้ตัวชี้วัดการประเมินการสะสมวิตามินเอในตับโดยเทคนิค Relative Dose Response (RDR) และการตรวจลักษณะเยื่อบุตาขาวโดยเทคนิค Conjunctival Impression Cytology (CIC) ของการสำรวจครั้งนี้ พบวิตามินเอสะสมในตับไม่เพียงพอ ร้อยละ 20 และความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุตาขาว (Abnormal CIC) ร้อยละ 18 สรุปการสำรวจได้ว่า ปัญหาการขาดวิตามินเอในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในระดับที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่แสดงอาการทางคลินิก และพบว่าเด็ก 1 คนใน 5 คน มีวิตามินเอสะสมในตับไม่เพียงพอ และมีความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุตาขาว (Nutrition Division, 1991) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการสำรวจความชุกของสภาวะพร่องวิตามินเอในประเทศไทยโดย แสงโสม และคณะ พบว่าเด็กก่อนวัยเรียนอายุ 2-6 ปี ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสภาวะการขาดวิตามินระดับอ่อน ซึ่งยังไม่มีอาการเปลี่ยนแปลงทางตาอย่างชัดเจนประมาณร้อยละ 20 (สมลักษมิ์, 2534) ในขณะเดียวกันองค์การคาทอลิครีลีฟเซอร์วิสเซสแห่งประเทศไทย (2534) ได้มีการศึกษาพบปัญหาการขาดวิตามินเอระดับอ่อนเกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง ในเด็กวัยเรียนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ร่างกายได้รับอาหารที่มีเรตินอลหรือบีตาแคโรทีนต่ำ หรือจากการบริโภคอาหารที่ช่วยดูดซึมวิตามินเอสู่ร่างกายน้อย และอาหารพื้นบ้านมีไขมันเป็นส่วนประกอบเพียงร้อยละ 3-6 เท่านั้น

ในปี พ.ศ. 2535 กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้ทำการสำรวจภาวะวิตามินเอในเด็กวัยก่อนเรียนอายุ 2-6 ปี ใน 5 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง คือ ยะลา ปัตตานี สตูล นราธิวาส และสงขลา จำนวน 460 คน พบว่า มีกระจกตาขุ่นเหลว 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.43 และแผลเป็นของกระจกตาดำ (Corneal scar) 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.87 (Nutrition Division, 1995) ซึ่งตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลกได้ให้ข้อกำหนดไว้ว่า หากพบกระจกตาดำขุ่นเหลว ในเด็กวัยก่อนเรียนมากกว่าร้อยละ 0.01 และแผลเป็นที่กระจกตามากกว่าร้อยละ 0.05 ให้จัดว่าชุมชนนั้นมีการขาดวิตามินเอในระดับเป็นปัญหาสาธารณสุข (WHO, 1995)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้จัดให้มีการประเมินผลสถานการณ์โรคขาดวิตามินเอ ใน 5 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง พบว่าปัญหาได้ลดระดับความรุนแรงลงอย่างชัดเจน และจากรายงานเฝ้าระวังโรคขาดวิตามินเอ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 จนถึงปี พ.ศ. 2540 นั้น ไม่พบเด็กรายใหม่ที่ขาดวิตามินเอในระดับรุนแรง ซึ่งแสดงอาการทางตา (Nutrition Division, 1996) และในปี พ.ศ. 2536 องค์การอนามัยโลกได้จัดให้ประเทศไทยเป็นกลุ่มประเทศโรคขาดวิตามินเอ ชนิดไม่แสดงอาการทางคลินิกขั้นปานกลาง (Moderate subclinical vitamin A deficiency) (Micronutrient Deficiency Infirmation System, 1992)

กรมอนามัยได้กำหนดนโยบายและแนวทางควบคุมและป้องกันโรคขาดวิตามินเอในพื้นที่ภาคใต้ ตามลำดับความเร่งด่วนไว้ 3 แนวทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวทางแรก คือ การกระจายยาเม็ดวิตามินเอ (vitamin A supplementation) ตามขนาดที่องค์การอนามัยโลกเสนอแนะแก่เด็ก 0-5 ปี ในพื้นที่ 5 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง

แนวทางที่สอง คือ การเสริมวิตามินเอในอาหาร (vitamin A fortification) ได้แก่ การส่งเสริมให้มีการเติมวิตามินเอ ขนาด 1,100 หน่วยสากลในนมข้นหวาน 100 กรัม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ลงวันที่ 11 ตุลาคม 2536 รวมทั้งการเสริมวิตามินเอร่วมกับสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็น

แนวทางที่สาม คือ การผสมผสานกิจกรรมด้านอาหาร (food diversification) ได้แก่ การส่งเสริมการบริโภคอาหารที่อุดมด้วยวิตามินเอโดยผ่านสื่อต่างๆ ของการสื่อสารทางโภชนาการ เช่น สปอตวิทยุ สปอตโทรทัศน์ ชุดนิทรรศการ โปสเตอร์ เป็นต้น รวมทั้งการพัฒนาตำรับอาหารท้องถิ่นที่เป็นที่นิยมเพื่อให้ประชาชนมีระดับวิตามินเอเพิ่มขึ้น (กรมอนามัย, 2539)

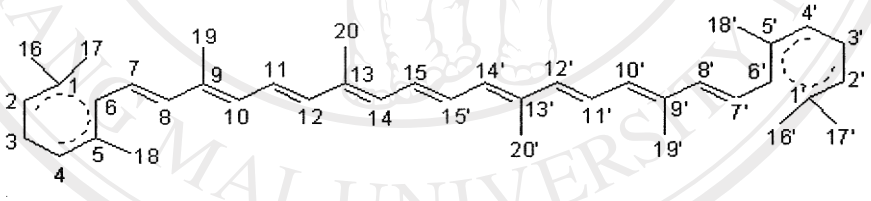
ในปี พ.ศ. 2542 ตามการกำหนดนโยบายควบคุมป้องกันโรคและส่งเสริมสุขภาพประชาชนไทยให้มีประสิทธิภาพด้วยต้นทุนต่ำ (Good Health at Low Cost) ของกระทรวงสาธารณสุข กรมอนามัยจึงได้เสนอ “แนวทางการควบคุมและป้องกันโรคขาดวิตามินเอด้วยมาตรการเสริมยาเม็ดวิตามินเอ เพื่อลดความเสี่ยงและความรุนแรงของการเจ็บป่วยด้วยโรคติดเชื้อในประชากรกลุ่มเสี่ยงของประเทศไทย” ซึ่งประชากรกลุ่มเสี่ยงดังกล่าว คือทารกและเด็กวัยก่อนเรียน ให้สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพิจารณาโดยสามารถใช้หมวดเงินอุดหนุนงานรักษาพยาบาลผู้มีรายได้น้อยในการจัดซื้อยาเม็ดวิตามินเอ (กรมอนามัย, 2542) ในปี 2545 กองโภชนาการ กรมอนามัยและสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ทำการศึกษาคุณภาพนมแม่ในพื้นที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ใกล้เมืองและเขตภูเขา พบว่า ความเข้มข้นของวิตามินเอในนมแม่ที่อาศัยในเขตเมืองสูงกว่าในเขตภูเขาทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง อัตราชุกของภาวะขาดวิตามินเอจากตัวชี้วัดระดับวิตามินเอในน้ำนมแม่ พบว่า หญิงให้นมบุตรในพื้นที่เขตภูเขาของอำเภออมก๋อย ประมาณร้อยละ 72 มีภาวะขาดวิตามินเอ (ฉัฐิกา, 2545) กองโภชนาการ ศูนย์อนามัยที่ 10 เชียงใหม่ กรมอนามัย สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ และสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ร่วมจัดทำโครงการเร่งด่วนเพื่อแก้ไขปัญหาโดยฝึกอบรมเจ้าหน้าที่สาธารณสุขและบุคคลกรที่เกี่ยวข้องในการค้นหาเด็กที่มีภาวะขาดวิตามินเอที่แสดงอาการทางตา และเด็กที่มีภาวะเสี่ยงสูงต่อการขาดวิตามินเอ รวมทั้งกระจายยาเม็ดวิตามินแกเด็ก 0-5 ปี ในพื้นที่ดังกล่าว ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก (WHO, 1997) เพื่อป้องกันมิให้เกิดความรุนแรงเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในปี พ.ศ. 2546 กองโภชนาการได้กระจายยาเม็ดวิตามินเอแก่เด็ก 6 เดือนถึง 5 ปี ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยง ได้แก่ ตำบลที่มีเด็กขาดสารอาหารโปรตีนและพลังงานทุกระดับรวมกัน มากกว่าร้อยละ 10 และหรือตำบลที่ยังคงมีเด็กขาดสารอาหารระดับ 2 หรือ 3 โดยให้จังหวัดคัดเลือกเองตามเกณฑ์ที่กำหนด กองโภชนาการได้สนับสนุนวิตามินเอแคปซูล ขนาด 200,000 หน่วยสากล ตามจำนวนเด็กทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยง และมีคู่มือการดำเนินงานเสริมวิตามินเอสำหรับเจ้าหน้าที่ (กองโภชนาการ, 2548)

**2.2 แคโรทีนอยด์**

แคโรทีนอยด์ (carotenoids) (ภาพ 2.3) เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ แคโรทีนอยด์ชนิดที่ถูกสังเคราะห์โดยสาหร่ายชนิดต่างๆ ได้แก่ ฟิวโคแซนทิน (fucoxanthin) ลูเตอิน (lutein) ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) และนีโอแซนทิน (neoxanthin) ส่วนแคโรทีนอยด์ที่ถูกสังเคราะห์โดยพืช ได้แก่ แคโรทีน (carotene) ซีแซนทิน (zexanthin) ไลโคพีน (lycopene) แคพแซนทิน (capxanthin) และไบซิน (bixin) เป็นต้น (นิธิยา, 2545)




**ภาพ 2.3** โครงสร้างของแคโรทีนอยด์
ที่มา : Britton (1996)

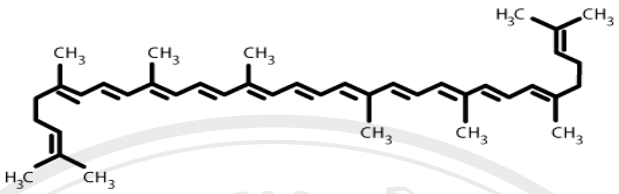
**2.2.1 การแบ่งกลุ่มของแคโรทีนอยด์**

แคโรทีนอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (นิธิยา, 2545)

1. กลุ่มที่เป็นไฮโดรคาร์บอน คือ แคโรทีนซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์กลุ่มที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนซึ่งเป็นไดอีน (diene) [$CH_2$=C-($CH_3$)-CH=$CH_2$] มาเรียงต่อกัน 8 หน่วย จึงมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 40 อะตอม มีสูตรเป็น $C_{40}H_{56}$ แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีก 3 กลุ่ม ได้แก่

1.1 Acyclic คือ ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุล เช่น ไลโคพีน มีสูตรโครงสร้างดังนี้

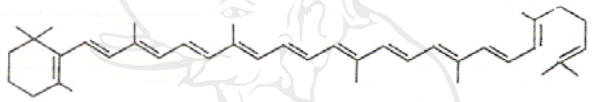
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



**ภาพ 2.4** โครงสร้างของไลโคพีน

ที่มา : Wikimedia Foundation, Inc. (2008)

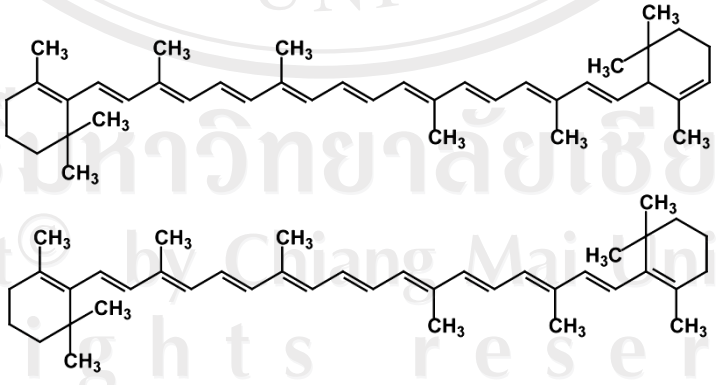
1.2 Monocyclic คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายด้านหนึ่ง เช่น แกมมา-แคโรทีน ทำให้ครึ่งหนึ่งของโครงสร้างโมเลกุลของแกมมา-แคโรทีนเหมือนกับไลโคพีน และอีกครึ่งหนึ่งเหมือนกับบีตาแคโรทีน สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแกมมาแคโรทีน มีดังนี้



**ภาพ 2.5** โครงสร้างของแกมมาแคโรทีน

ที่มา : นิธิยา (2545)

1.3 Bicyclic คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายทั้งสองด้าน เช่น แอลฟา และบีตาแคโรทีน แอลฟาแคโรทีนต่างจากบีตาแคโรทีนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของวงแหวนที่ 2 มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังภาพ 2.6



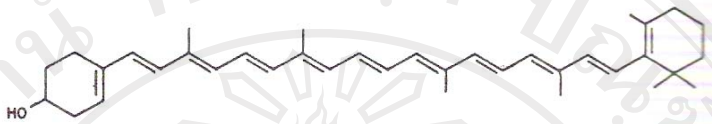
**ภาพ 2.6** โครงสร้างของแอลฟาแคโรทีน (บน) และบีตาแคโรทีน (ล่าง)

ที่มา : Wikimedia Foundation, Inc. (2008)

2. กลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล เป็นกลุ่มของอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมทอกซิล คาร์บอกซิล คีโต หรืออีพอกซี รวมเรียกว่า แซนโทฟีลล์ (xanthophylls) แคโรทีนอยด์กลุ่มนี้พบในพืชและมักจะอยู่รวมกับแคโรทีน ตัวอย่างเช่น คริพโตแซนทิน นอกจากนี้แซนโทฟีลยังอาจอยู่ในรูปอนุพันธ์เอสเทอร์กับกรดไขมันก็ได้สารกลุ่มนี้จะเป็นรงควัตถุหลักในข้าวโพด พริกแดง มะละกอสุก และส้ม คริพโตแซนทินมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังนี้




**ภาพ 2.7** โครงสร้างของคริพโตแซนทิน
ที่มา : นิธิยา (2545)

### 2.2.2 แคโรทีนอยด์ในอาหาร

แคโรทีนอยด์มาจากชื่อของแครอท เนื่องจากพบแคโรทีนอยด์มากในแครอท สีของแคโรทีนอยด์จะผันแปรไปตามจำนวนพันธะคู่แบบ conjugate double bond ในโมเลกุล ถ้ามีจำนวนพันธะคู่มากจะทำให้มีสีแดงเข้มขึ้น จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่น้อยที่สุดมี 7 พันธะ ซึ่งจะให้สีเหลือง พันธะคู่อาจอยู่ในรูปซิส (*cis*) หรือทรานส์ (*trans*) ก็ได้ (ภาพ 2.8) แต่แคโรทีนอยด์ที่พบในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูป all-*trans* อาจพบซิสบ้างเป็น mono-*cis* หรือ di-*cis* แต่น้อยมาก แคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป all-*trans* จะมีสีเข้ม ถ้ามีจำนวนพันธะคู่ที่อยู่ในรูปซิสเพิ่มมากขึ้นสีจะจางลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนจากทรานส์เป็นซิส คือ แสง ความร้อน และกรด เมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิสูงจะเกิด *trans-cis* isomerization ได้ หากอยู่ในรูปซิสมากขึ้นจะทำให้ vitamin A activity ลดลง (นิธิยา, 2545) ซึ่งรูปซิสที่เกิดขึ้นมีผลให้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และเป็นสาเหตุของการสูญเสียแคโรทีนอยด์ (Macrae, 1988) นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังสลายตัวได้ง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะเมื่อละลายอยู่ในน้ำมันจะถูกทำลายได้ง่ายเมื่อน้ำมันเกิดการออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการสลายตัวของบีตาแคโรทีนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ แสดงในภาพ 2.9 (นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

*cis* *trans*

*cis* : ตำแหน่งของ R1 และ R2 ที่อยู่บนพันธะคู่จะอยู่ตรงข้ามกัน

*trans* : ตำแหน่งของ R1 และ R2 ที่อยู่บนพันธะคู่จะอยู่ด้านเดียวกัน

**ภาพ 2.8** ลักษณะรูปแบบซิสและทรานส์ในโครงสร้างของแคโรทีนอยด์
ที่มา : Schoefs (2002)

แคโรทีนอยด์มีความสำคัญต่อร่างกายเพราะสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ โดยเฉพาะบีตาแคโรทีน 1 โมเลกุล สามารถสลายตัวได้เป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล แต่แกมมาแคโรทีน ซึ่งมีวงแหวน 1 อัน เมื่อสลายตัวได้วิตามินเอเพียง 1 โมเลกุลเท่านั้น (นิธิยา, 2545) และสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบเป็นกิจกรรม (activity) ของวิตามินเอ จะแสดงในตาราง 2.1

น้ำมันพืช มีแคโรทีนอยด์ตามธรรมชาติ โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มมีแคโรทีนอยด์ประมาณร้อยละ 0.05-0.20 ซึ่งมากกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ ใช้ประโยชน์เป็นแหล่งโปรวิตามินเอได้ กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ เช่น การฟอกสี และการไฮโดรจิเนชันจะทำลายแคโรทีนอยด์ทำให้น้ำมันมีสีจางลง (นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 2.1** สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบเป็นกิจกรรมของวิตามินเอ

| แคโรทีนอยด์ | ร้อยละของกิจกรรม (%activity) |
|---|---|
| all-*trans*-β-carotene | 100 |
| 9-*cis*-β-carotene | 38 |
| 13-*cis*-β-carotene | 53 |
| all-*trans*-α-carotene | 53 |
| 9-*cis*-α-carotene | 13 |
| 13-*cis*-α-carotene | 16 |
| all-*trans*-cryptoxanthin | 57 |
| 9-*cis*-cryptoxanthin | 27 |
| 15-*cis*-cryptoxanthin | 42 |
| β-carotene 5,6-epoxide | 21 |
| β-carotene 5,8-epoxide | 80 |
| γ-carotene | 42-50 |
| β-zeacarotene | 20-40 |

ที่มา : ดัดแปลงจากกัณณพนต์ (2538)

**2.2.3 การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์**

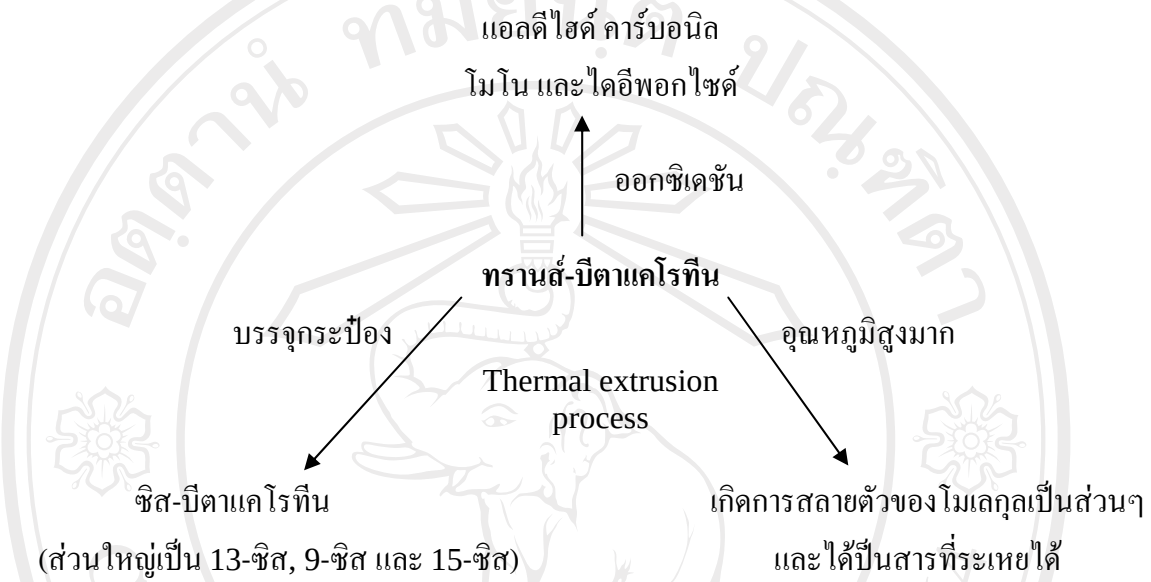
การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ เกิดจาก 2 ปฏิกิริยา ดังนี้ (อนุตตราและบุญตา, 2540; กัณณพนต์, 2538; อนุสรณ์และสุรศักดิ์, 2534)

1. ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) เกิดจากปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.1 ความร้อน แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นรูปทรานส์ หากได้รับแสงและมีความร้อนหรือรังสี จะทำให้โครงสร้างเกิดการบิดตัวไป 180 องศา เปลี่ยนเป็นรูปซิส ซึ่งรูปซิสนี้จะไม่ค่อยเสถียร มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสั้นลง และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (molecular extinction coefficient) ต่ำ สีที่ปรากฏจะอ่อนกว่ารูปทรานส์ การเกิดไอโซเมอไรเซชันด้วยความร้อน (thermal isomerization) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ และควรเก็บรักษาตัวอย่างอาหารที่มีสารแคโรทีนอยด์ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการสูญเสียแคโรทีนอยด์ไว้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 ความเป็นกรด ในสภาพความเป็นกรดทำให้บีตาแคโรทีนเปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์อีพอกไซด์ (epoxide isomer) ซึ่งเกิดจากการจับตัวของออกซิเจนที่พันธะคู่ของวงแหวนในโครงสร้างเกิดเป็น 5,6-epoxide ซึ่งมีสีจางกว่าบีตาแคโรทีน




**ภาพ 2.9** แผนภูมิการสลายตัวของ all-*trans*-β-carotene
ที่มา : นิธิยา (2545)

2. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 ออกซิเจน เมื่อแคโรทีนอยด์สัมผัสกับอากาศ ที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโครงสร้างของโมเลกุลจะไปจับออกซิเจนเกิดเป็นสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide; ROOH) สารประกอบคาร์บอนิลและสารระเหยอื่นๆ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นโดยตรง (direct oxidation) อัตราการสูญเสียแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ได้ขึ้นอยู่กับออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับอุณหภูมิและความเข้มของแสงซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาด้วย การเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ในสภาวะที่มีออกซิเจน บีตาแคโรทีนจะสูญเสียเป็นอันดับแรก

2.2 การป้องกันการออกซิเดชันจากออกซิเจน สามารถกระทำได้โดยการเติมสารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) เช่น กรดแอสคอร์บิก และบิวทิเลทไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) เป็นต้น หรือไม่ให้อาหารสัมผัสกับอากาศขณะเก็บรักษา เช่น ใช้น้ำมันเคลือบผิว หรือบรรจุก๊าซเฉื่อยในภาชนะบรรจุ หรือบรรจุแบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้และทำให้แคโรทีนอยด์เกิดออกซิเดชันไปด้วย เรียกว่า การเกิดออกซิเดชันร่วม (co-oxidation) เป็นปฏิกิริยาแบบทางอ้อม (indirect oxidation) สามารถป้องกันได้โดยใช้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวในการผสมกับแคโรทีนอยด์

2.4 การปนเปื้อนของโลหะ ไอออนของโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้แคโรทีนอยด์เสื่อมสภาพ และถ้ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย การเสื่อมสลายจะยิ่งเร็วขึ้น เช่น โลหะทองแดงจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคพีนให้เร็วขึ้น 3.5 เท่า เนื่องจากไอออนจากทองแดงจะไปเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ

2.5 แสงสว่าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติ การเกิดออกซิเดชันจากแสงสว่างจะรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนในอากาศด้วย

2.6 เอนไซม์ การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากแคโรทีนอยด์ที่อยู่ภายในเซลล์ในรูปของสารเชิงซ้อนของรงควัตถุกับโปรตีน ซึ่งมีความเสถียรมาก ดังนั้นต้องมีสารที่สามารถมาทำลายโครงสร้างนี้ได้ คือ เอนไซม์ เมื่อแคโรทีนอยด์อยู่ในรูปอิสระก็จะเกิดการเสื่อมสลายได้ง่าย เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ ได้แก่ เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase; POD) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารแคโรทีนอยด์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งทางอ้อมคือการเกิดออกซิเดชันของไขมัน มีผลกระทบทำให้แคโรทีนอยด์เกิดการออกซิเดชันตามไปด้วย ไลปอกซิเดส (Lypoxidase) จะทำให้ไขมันเกิดอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระของไขมันนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแคโรทีนอยด์ และไลโปเปอร์ออกซิเดส (Lipoperoxidase) ทำให้เกิดการสลายของแคโรทีนอยด์เมื่อมีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากไลปอกซิเดส หรือเกิดจากการออกซิเดชันโดยอาศัยเอนไซม์

2.7 น้ำ เป็นส่วนประกอบที่ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดี หากตัวอย่างถูกกำจัดน้ำออกไปบางส่วนจะทำให้เอนไซม์ทำงานได้ลดลง แต่การที่ไม่มีน้ำอยู่ในตัวอย่างเลยจะทำให้ผิวนอกของตัวอย่างมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น และหากน้ำในตัวอย่างเหลือน้อยเกินไปจะทำให้เอนไซม์มีประสิทธิภาพมากขึ้นที่สภาวะนี้เซลล์จะเกิดความเสียหาย เอนไซม์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารที่เกิดการออกซิเดชันได้ง่ายขึ้น ดังนั้นตัวอย่างที่มีน้ำอยู่น้อยจะเกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ได้ง่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 2.3 น้ำมันปาล์ม

### 2.3.1 ปาล์มน้ำมัน

ตระกูล ปาล์ม (Palmae หรือ Arecaceae)

ชื่อพฤกษศาสตร์ *Elaeis guineensis* Jacq.

ชื่อสามัญ ปาล์มน้ำมัน (oil palm)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา เมื่อปี พ.ศ. 2391 ได้มีการนำพันธุ์ดูร่าเข้ามาปลูกในสวนพฤกษศาสตร์โบกอร์ ประเทศอินโดนีเซีย และได้คัดเลือกพันธุ์แล้วนำไปปลูกที่เมืองเดลี ต่อมาในปี พ.ศ. 2418 ได้มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศมาเลเซีย รู้จักกันในชื่อพันธุ์เดลีดูร่า ซึ่งทั้งสองประเทศปลูกเพื่อเป็นการทดลอง และปี พ.ศ. 2460 ทั้งอินโดนีเซียและมาเลเซียจึงเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้า เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2485 พระยาประดิพัทธภูบาล ได้นำพันธุ์ปาล์มน้ำมันจากมาเลเซียหรืออินโดนีเซียมาปลูกในประเทศไทย โดยปลูกเป็นไม้ประดับที่สถานีทดลองยางคอหงษ์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และที่สถานีกสิกรรมพลิ้ว จังหวัดจันทบุรี หม่อมเจ้าอมรสสมานลักษณ์ กิติยากร ได้ริเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นการค้าโดยทรงปลูกที่ตำบลบ้านปริก จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่ประมาณ 1,000 ไร่ และมีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้าอย่างจริงจังในปี พ.ศ. 2511 โดยมีโครงการที่ปลูกคือ โครงการนิคมสร้างตนเองพัฒนาภาคใต้ จังหวัดสตูล เนื้อที่ปลูก 20,000 ไร่ มีสมาชิก 1,645 คน โดยปลูกคนละ 16 ไร่ และโครงการบริษัทอุตสาหกรรมน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ตำบลปลายพระยา อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ เนื้อที่ปลูกประมาณ 20,000 ไร่ ทั้งสองโครงการได้รับความสำเร็จ มีผู้สนใจปลูกปาล์มเพิ่มขึ้นและขยายตัวอย่างรวดเร็วนับล้านไร่ (เอกชัย, 2548)

### 2.3.2 การแปรรูปปาล์มน้ำมัน

น้ำมันจากปาล์มสกัดได้จากส่วนของเปลือกนอก และจากเนื้อในเมล็ด โดยมีกรดไขมันแตกต่างกันกับน้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันหมู (เอกชัย, 2548)

น้ำมันปาล์ม (palm oil) โดยทั่วไปได้จากส่วนเปลือกนอกของผลปาล์ม เมื่อหีบจะได้น้ำมันปาล์มซึ่งจะมีลักษณะเหลวมีน้ำปนอยู่ หลังจากนั้นจะนำมากรองเพื่อแยกสิ่งสกปรกและเส้นใยออก และนำไปขจัดความชื้นให้อยู่ในมาตรฐาน เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสระหว่างการเก็บทะลายขนส่ง น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะบรรจุลงในถังเพื่อรอจำหน่ายให้กับโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อไป และน้ำมันปาล์มดิบสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำมันและส่วนที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นไข โดยจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส และมีจุดแข็งตัวระหว่าง 25-50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะขึ้นกับชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ น้ำมันปาล์มดิบจะมีสีแดงส้มเป็นส่วนของสารแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยเม็ดสีที่เรียกว่า แคโรทีน ไลโคพีน และซินโตฟิลล์ และอาจมีกลิ่นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของพวก p-inonome แคโรทีนอยด์ถูกดูดซึมได้โดยสารบางชนิดและสลายได้เมื่อถูกความร้อน ทำให้ฟอกสีได้ง่ายในขบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มให้ใสบริสุทธิ์ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบแสดงในตาราง 2.2 ซึ่งปริมาณของ กรดไขมันเหล่านี้ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิด พันธุ์ สภาพภูมิอากาศที่ปลูก นอกจากนี้น้ำมันปาล์มยังประกอบด้วยสารที่ไม่สามารถทำเป็นสบู่ได้ (unsaponifiable matter) ประมาณร้อยละ 0.2-1 โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำมันปาล์มจากเนื้อในเมล็ดปาล์ม จะมีน้ำมันประมาณร้อยละ 46-57 การหีบน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดทำได้โดยการหีบด้วยแรงอัดสูงหรือสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้จะแตกต่างจากน้ำมันปาล์มจากเปลือกนอก น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดมีลักษณะใส ไม่มีสีถึงสีเหลืองอ่อน กรดไขมันที่มีอยู่ส่วนมากจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (เอกชัย, 2548)

การแปรรูปน้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรมมี 3 กระบวนการ ดังต่อไปนี้ (เอกชัย, 2548)

1. กระบวนการหีบน้ำมันจากส่วนเปลือกและส่วนเนื้อในเมล็ดจะได้น้ำมันปาล์มดิบที่ถูกกำจัดความชื้นให้อยู่ในมาตรฐานกำหนด และบรรจุถังเพื่อรอจำหน่ายหรือเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2. กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เป็นการนำเอาน้ำมันปาล์มดิบมาทำให้บริสุทธิ์ โดยขจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจนน้ำมันมีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนด สามารถบริโภคได้

3. กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เป็นการนำน้ำมันปาล์มที่กลั่นบริสุทธิ์มาแปรรูปในอุตสาหกรรมเครื่องอุปโภคและบริโภค

### 2.3.3 ผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมัน

เอกชัย (2548) รายงานว่า ปาล์มน้ำมันสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายทั้งในด้านการอุปโภคและบริโภค ซึ่งมีการใช้ปาล์มน้ำมันเพื่อการบริโภคเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากถั่วเหลือง

1. น้ำมันปาล์มดิบ

1.1 การนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไปเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) จะได้ผลิตภัณฑ์เนยขาว ไขมันผสม ไขมันสำหรับทอด และไขมันนม

1.2 น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ ทำผลิตภัณฑ์ครีมเทียม ครีมไส้ขนม ไอศกรีม ขนมอบ (bakery) ไขมันทำขนมปัง ไขมันสำหรับทำพาย เนยเทียม เนยขาว น้ำมันทอด คอฟฟี่เมท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเนยโกโก้เคลือบแป้ง

1.3 การแยกส่วนและการสกัด (fractionation) จะได้ผลิตภัณฑ์ดังนี้ น้ำมันปาล์มสเตียริน นำไปเติมไฮโดรเจนจะได้ผลิตภัณฑ์ไขมันผสม เนยโกโก้ ไขมันสำหรับทำขนมอบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน จะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันปรุงอาหาร น้ำมันสำหรับทอด ไขมันผสม น้ำมันสลัด เนยโกโก้ ไขมันสำหรับทำลูกกวาด เนยขาว เนยเทียม ขนมเค้ก ขนมปังกรอบ

2. เนื้อในกะลาปาล์มน้ำมัน

น้ำมันจากเนื้อในกะลาปาล์ม นำไปทำผลิตภัณฑ์เนยเทียม ไขมันผสม ขนมปังกรอบ ครีม ไอศกรีม และไขมันทำขนมปัง

3. องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันปาล์ม พบว่ามีวิตามินอีและแคโรทีนอยด์สูงมาก เมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น หากนำไปสกัดจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปาล์มน้ำมันเป็นอย่างมาก

**ตาราง 2.2** องค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ

| ชนิดของกรดไขมัน | ร้อยละโดยมวลของกรดไขมัน |
|---|---|
| **กรดไขมันอิ่มตัว** | |
| กรดลอริก (lauric acid) C12 | เล็กน้อย |
| กรดไมริสติก (myristic acid) C12 | 2 |
| กรดปาล์มิติก (palmitic acid) C18 | 43 |
| กรดสเตียริก (stearic acid) C18 | 7 |
| กรดอราซิดิก (arachidic acid) C20 | เล็กน้อย |
| **กรดไขมันไม่อิ่มตัว** | |
| กรดโอเลอิก (oleic acid) C18:1 | 39 |
| กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) C18:2 | 9 |
| กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) C18:3 | เล็กน้อย |

ที่มา : ประยุกต์จากเอกชัย (2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

### 2.3.4 แคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil; CPO) มีปริมาณแคโรทีนทั้งหมด 540 ไมโครกรัมต่อกรัม มีบีตาแคโรทีน 370 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 70 ของปริมาณแคโรทีนทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนสูงเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น (ตาราง 2.3) และถือได้ว่าน้ำมันปาล์มดิบเป็นแหล่งของบีตาแคโรทีน (Zeb and Mehmood, 2004; Hamilton, 1995)

Manorama and Rumini (1992) ได้รายงานความคงตัว (stability) ของบีตาแคโรทีนในผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดิบไว้ว่า ปริมาณองค์ประกอบที่สามารถดูดซับและการนำไปใช้ประโยชน์ของร่างกายในเด็กวัยเรียน ซึ่งได้รับการยอมรับเมื่อทำการผสมน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันถั่วในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และในกระบวนการปรุงอาหารบีตาแคโรทีนจะสูญเสียในปริมาณร้อยละ 22-30 และแคโรทีนทั้งหมดร้อยละ 24-32 น้ำมันที่นำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 5 ครั้งอย่างต่อเนื่องจะทำให้ส่วนประกอบของบีตาแคโรทีนสูญเสียโดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส

**ตาราง 2.3** ปริมาณแคโรทีนของน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับอาหารชนิดอื่นๆ

| ชนิดของผักและผลไม้ | ปริมาณแคโรทีน (ppm) |
|---|---|
| น้ำมันปาล์ม | 30,000 |
| แครอท | 2,000 |
| ผักใบเขียว | 685 |
| แอพริคอท (apricots) | 250 |
| มะเขือเทศ | 100 |
| กล้วย | 30 |
| น้ำส้ม | 8 |

ที่มา : ดัดแปลงจาก Zeb and Mehmood (2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 2.4 นมผง

การทำนมผง (milk powder) ใช้น้ำนมมาระเหยน้ำออกภายใต้สูญญากาศจนมีความเข้มข้นประมาณ 3 เท่า หลังจากนั้นนำมาทำให้เป็นผงโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) หรือแบบลูกกลิ้ง (roller drying) นมผงที่ได้จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 97

นมผงนิยมบรรจุใส่กระป๋องที่ปิดสนิท อากาศที่บรรจุภายในกระป๋องใช้แก๊สไนโตรเจนผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้นมผงมีรสชาติเปลี่ยนไป ส่วนประกอบทางเคมีของนมผงประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 2 (ไม่มากกว่าร้อยละ 5) ไขมันนมร้อยละ 27.5 (ไม่น้อยกว่าร้อยละ 26) โปรตีนร้อยละ 26.4 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 38.2 และเถ้าร้อยละ 5.9 (ลักขณาและนิธิยา, 2544)

การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง เพื่อเป็นการหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ การทำให้น้ำนมแห้งมีมาตั้งแต่สมัยที่มาร์โคโปโลเดินทางไปในเอเชียได้บันทึกไว้ว่า ชาวมองโกลได้มีการต้มนมแยกเอาครีมออก แล้วเอาส่วนที่เหลือไปตากแห้งโดยใช้แสงแดด แต่นมในสภาพแห้งเราไม่นิยมเรียกว่า นมแห้ง แต่จะเรียกว่า นมผง การผลิตนมผงในปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ด้วยเครื่องมือที่ทันสมัย ทำให้นมผงสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยไม่มีการเสื่อมคุณภาพทั้งรสชาติและคุณค่าทางอาหาร หางนมผงมีอายุการเก็บรักษา 1-3 ปี แต่นมผงทั่วไปจะมีอายุการเก็บเพียง 6 เดือน (Onwulata, 2005)

**2.4.1 ประเภทของนมผง**

นมผงแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้ (วรรณาและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; มอก.190-2519, 2543; มอก.391-2524, 2545)

1. นมผงธรรมดาหรือนมผงพร้อมมันเนย (dry whole milk) ตามมาตรฐานของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ความเป็นกรดไม่เกินร้อยละ 0.17 ค่าดัชนีการละลาย (solubility index) เป็น 1 ปริมาณผงที่ไหม้ (scorched particle) ไม่เกินร้อยละ 22.5 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน $1x10^5$/ตัวอย่าง 1 กรัม

2. นมผงพร่องมันเนย (dry partly skimmilk) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยระหว่างร้อยละ 1.5-26 ความเป็นกรดไม่เกินร้อยละ 0.17 ค่าดัชนีการละลายเท่ากับ 1 ปริมาณผงที่ไหม้ไม่เกินร้อยละ 22.5 และจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน $1x10^5$/ตัวอย่าง 1 กรัม

3. นมผงขาดมันเนย (dry skimmilk or non-fat dry milk) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยไม่เกินร้อยละ 1.5 มาตรฐานความเป็นกรด จุลินทรีย์ และปริมาณผงที่ไหม้เช่นเดียวกับนมผงพร่องมันเนย

4. นมผงแปลงไขมัน (dry filled milk) คือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนมผงโดยใช้น้ำมันพืชและ/หรือไขมันพืชแทนมันเนยบางส่วนหรือทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.4.2 กระบวนการผลิตนมผง**

วัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิต น้ำนมหรือส่วนอื่นๆ ที่ได้จากน้ำนมจะต้องเป็นน้ำนมที่ไม่ได้รับความร้อนสูงมาก่อน เพราะจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (denaturation) ซึ่งมีผลทำให้การละลายไม่ดี กลิ่นและรสของนมผงจะไม่ดีด้วย ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบหาค่าเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เพื่อตรวจสอบว่ามีการให้ความร้อนสูงแก่น้ำนมมาก่อนหรือไม่ ก่อนที่น้ำนมจะถูกส่งเข้าเครื่องทำให้แห้ง จะต้องมีการปรับมาตรฐานของไขมันในน้ำนม แยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวด้วยการปั่นเหวี่ยง (centrifuges) แล้วจึงทำการพาสเจอไรเซชัน อุณหภูมิในการพาสเจอไรเซชันจะต้องไม่สูงเกินไป อุณหภูมิที่ใช้จะเพียงแต่ทำให้การตรวจสอบไม่พบฟอสฟาเตส ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นน้ำนมที่ไม่ได้ปั่นแยกเอาครีมออก จะต้องไม่มีเอนไซม์ไลเปสเหลืออยู่ด้วย (เสาวลักษณ์, 2539)

การทำแห้งสำหรับอาหารชนิดอื่นมีหลายแบบ เช่น การใช้แสงแดด ลม หรือใช้การอบ แต่สำหรับน้ำนมจะต้องมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะน้ำนมมีปริมาณน้ำสูง การใช้แสงแดด หรือการอบจะต้องใช้เวลานาน ทำให้น้ำนมอาจเสื่อมคุณภาพได้ (Kon, 1972)

การผลิตนมผงในการอุตสาหกรรมมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 แบบ คือ (วรรณาและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; Onwulata, 2005)

1. การทำแห้งแบบลูกกลิ้งหรือแบบหมุน (Drum or Roller Drying) เป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการทำนมผงยังมีประสิทธิภาพไม่ดี เพราะความสามารถในการละลายยังไม่ดี ต้องชงด้วยน้ำร้อนและจะมีสีเหลืองเล็กน้อย นมหรือผลิตภัณฑ์นมจะทำให้เป็นผงได้จากเครื่องที่เรียกว่า Drum Drier หรือ Roller Drier ซึ่งมีลักษณะเป็นวงล้อหมุนได้รอบตัวด้วยความเร็วประมาณ 15 รอบต่อนาที วงล้อหรือลูกกลิ้งมีความยาวระหว่าง 1.2-3 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2-3 เมตร ซึ่งขึ้นกับกำลังการผลิต ลูกกลิ้งมีทั้งระบบเดี่ยวและระบบคู่

หลักการทำงานของเครื่องคือ การปล่อยน้ำนมให้แผ่ไปบนลูกกลิ้งที่มีความร้อนอยู่ภายในโดยลูกกลิ้งจะหมุนตลอดเวลา น้ำที่อยู่ในนมจะระเหยออกไปโดยมีลมช่วยเป่าให้การระเหยเป็นไปได้ดีขึ้น เครื่องมือชนิดนี้มี 2 แบบ ได้แก่

1.1 แบบเปิด (Open type or Atmospheric) ประกอบด้วยลูกกลิ้งใหญ่จุ่มอยู่ในน้ำนม หรือใช้น้ำนมพ่นใส่ หรือปล่อยน้ำนมลงโดยตรงก็ได้ ติดกับข้างลูกกลิ้งมีรางอยู่ 2 ราง ข้างละราง ข้างในลูกกลิ้งบรรจุไอน้ำร้อนทำให้ลูกกลิ้งร้อน อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 93-148 องศา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลเซียส (200-300 องศาฟาเรนไฮท์) ระยะห่างลูกกลิ้งประมาณ 0.03 นิ้ว ลูกกลิ้งจะหมุนได้รอบแต่ต้องหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน น้ำนมที่จะใช้ทำแห้งจะต้องระเหยน้ำออกก่อนแล้วโดยอัตราส่วน 3 : 1 ถึง 5 : 1 ฉีดหรือพ่นน้ำนม ซึ่งทำให้ข้นแล้วทางตอนบนของลูกกลิ้ง หรือให้ลูกกลิ้งจุ่มลงไปในน้ำนมซึ่งทำให้ข้นแล้วก็ได้ เมื่อลูกกลิ้งหมุนจะพาเอานมติดขึ้นไปเป็นคราบแผ่นบางๆ เมื่อโดนความร้อนภายในลูกกลิ้งจะทำให้น้ำระเหยไปจนแห้งสนิทอย่างรวดเร็ว เวลาที่ใช้ทำให้เป็นนมผงประมาณ 3 วินาที คราบนมผงที่ได้จะถูกกรีดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้ข้างๆ ลูกกลิ้งแล้วหล่นลงรางที่มีสายพานพาไปส่งต่อเข้าเครื่องป่นให้เป็นเกล็ดแล้วป่นให้เป็นเศษผง เศษที่ไหม้และแข็งจะถูกกรองออกด้วยตะแกรง โดยวิธีนี้สามารถผลิตนมผงได้ 500-3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความบางของแผ่นคราบน้ำนมที่แผ่บนลูกกลิ้ง จะขึ้นอยู่กับการปรับความห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง อัตรากำลังการผลิตขึ้นกับความหนาบางของแผ่น อัตราการหมุนของลูกกลิ้ง อุณหภูมิและปริมาณน้ำนมที่ปล่อยลงบนลูกกลิ้ง

ในแบบเปิดนี้ การปล่อยน้ำนมลงโดยตรงบนลูกกลิ้ง และแบบที่ใช้การพ่นนั้นจะแตกต่างกัน คือ แบบใช้การพ่นจะใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของลูกกลิ้งได้สูงถึงร้อยละ 90 โดยพ่นน้ำนมให้เป็นแผ่นบางๆ ลงไปบนลูกกลิ้ง ในขณะที่แบบแรกใช้พื้นที่ได้เพียงร้อยละ 75 ความหนาของแผ่นน้ำนมจะอยู่ที่ความดันของหัวฉีดที่ใช้พ่น ระยะเวลาที่จะทำให้แห้งควบคุมได้ด้วยอัตราการหมุนลูกกลิ้งและอุณหภูมิที่ใช้

1.2 แบบสูญญากาศ (Vacuum type) ใช้หลักการเช่นเดียวกับแบบเปิด แต่ลูกกลิ้งจะอยู่ในห้องซึ่งสูบอากาศออก อุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่าแบบเปิด คือประมาณ 100 องศาเซลเซียส (212 องศาฟาเรนไฮท์) ขณะที่ลูกกลิ้งหมุนน้ำนมจะติดอยู่บนผิวลูกกลิ้ง และนมจะแห้งโดยใช้เวลาเพียง 6-30 วินาที นมจะแห้งเร็วหรือช้าขึ้นกับความเข้มข้นของนมที่จะระเหย นมผงที่ผลิตโดยวิธีนี้จะละลายได้ง่ายกว่าวิธีการแบบเปิด โดยปกตินิยมใช้ Roller Drier กับผลิตภัณฑ์หางนม (Skimmilk) เวย์ (Whey) และบัตเตอร์มิลค์ (Butter milk) และนิยมใช้ในการทำเป็นอาหารสัตว์มากกว่า เพราะต้องใช้ความร้อนสูงและละลายในน้ำไม่ดี

2. การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) วิธีนี้เป็นกระบวนการทำแห้งโดยใช้หัวฉีดกำลังสูง นมผงที่ผลิตโดยเครื่องแบบลูกกลิ้งจะมีประสิทธิภาพการละลายน้ำไม่ดีนัก ดังนั้นจึงมีผู้พยายามคิดค้นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าขึ้นมา เรียกว่า แบบที่ใช้หัวฉีดกำลังสูง ซึ่งเป็นเครื่องที่ทันสมัย มีอัตราการผลิตและประสิทธิภาพการผลิตสูงมาก ทำให้ได้นมผงที่มีคุณภาพดีมาก การละลายดีขึ้น ละลายน้ำได้มากกว่าร้อยละ 98 สามารถละลายได้ในน้ำเย็นและมีการเปลี่ยนแปลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รสชาติน้อยกว่ากระบวนการทำนมให้แห้งแบบลูกกลิ้งหรือแบบหมุน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องแบบนี้คือ หัวฉีดแรงสูง ที่เรียกว่า atomizer หัวฉีดจะทำหน้าที่ฉีดน้ำนมจากยอดถัง ความร้อนจะทำให้น้ำที่อยู่ในน้ำนมระเหยออกอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำนมแห้งเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วตกลงสู่ก้นถัง อากาศร้อนเกิดจากการเป่าลมไปบนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียส ลมร้อนจะผสมกับน้ำนมที่ถูกพ่นเป็นฝอยเล็กๆ ทำให้การระเหยเป็นไปอย่างรวดเร็ว ความชื้นจะลอยขึ้นในขณะที่นมผงจะค่อยๆ ตกลงไปที่ก้นถัง นมผงจะถูกลำเลียงออกที่ก้นถัง แล้วเดินทางไปในท่อยังเครื่องบรรจุโดยการใช้ระบบลมดูด ทั้งนี้ จะเป็นการทำให้นมผงเย็นลงแล้วจึงผ่านไปยังไซโคลน (cyclone) ซึ่งทำหน้าที่แยกเอาลมเย็นออกและให้นมผงเข้าสู่ระบบบรรจุ ในบางครั้งการทำให้แห้งอาจจะมีสิ่งแปลกปลอมที่อาจปะปนมากับอากาศ จะถูกแยกออกโดยระบบไซโคลน

การทำให้น้ำนมมีขนาดเล็กด้วยระบบหัวฉีดอะตอมทำให้เพิ่มพื้นที่ให้แก่น้ำนม เพื่อให้น้ำนมมีโอกาสได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ ปกติน้ำนม 1 ลิตรจะมีพื้นที่ผิวประมาณ 0.05 ตารางเมตร แต่ถ้านำน้ำนม 1 ลิตรไปฉีดพ่นฝอยด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่ละเม็ดจะมีพื้นที่ผิวระหว่าง 0.05-0.15 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น ถ้ารอบพื้นที่ของเม็ดน้ำนมทั้ง 1 ลิตรจะทำให้มีพื้นที่ทั้งหมด 35 ตารางเมตร เป็นการเพิ่มพื้นที่ขึ้นถึง 700 เท่า

การออกแบบ atomizer ขึ้นกับขนาดและสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สมบัติเหล่านี้ได้แก่ ขนาดของเม็ด การละลาย ความหนาแน่น และความสามารถในการทำให้เปียก (wettability) การออกแบบหัวฉีดอาจทำเป็น 3 แบบ คือ แบบพ่นขึ้น ใช้กับถังที่มีลักษณะตื้นทำให้ได้เม็ดผงค่อนข้างโต แบบพ่นลง ซึ่งเป็นทางเดียวกับอากาศร้อนที่จะเป่าลงมาจากยอดถัง แบบนี้ขนาดของเม็ดจะควบคุมโดยความดันของหัวฉีด ถ้าความดันสูงจะทำให้ได้เม็ดเล็ก และมีความหนาแน่นสูง แบบที่สามเป็นแบบจานหมุน คือบนหัวฉีดจะมีจานหมุนได้ น้ำนมจะถูกพ่นออกมาโดยการหมุนของจานด้วยความเร็วสูง ทำให้น้ำนมกระจายออกเป็นฝอย ในกรณีนี้ขนาดของเม็ดนมผงจะควบคุมด้วยความเร็วของจานหมุน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะที่ดีของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ (เสาวลักษณ์, 2539; วรรณาและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; Kon, 1972)

1. เป็นระบบต่อเนื่อง
2. ใช้แรงงานน้อยในการผลิต

3. ใช้ในการทำแห้งอาหารได้หลายชนิด เช่น นม ไข่
4. ระยะเวลาให้ความร้อนน้อย มีผลคือ ไม่ทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพ
5. Thermal efficiency ต่ำ
6. ผลิตได้เป็นจำนวนมาก
7. แยกส่วนที่เป็นผลิตภัณฑ์และอากาศได้ดี
8. อุปกรณ์ง่ายต่อการทำความสะอาด
9. ผลิตภัณฑ์ที่จะทำแห้งต้องทำให้ชื้นก่อน เพื่อง่ายแก่การควบคุมความชื้น
10. สามารถควบคุมสมบัติของตัวอย่างได้
11. ผลิตภัณฑ์จะไม่มีส่วนติดกับ drying chamber จึงไม่ทำให้เกิดการไหม้

3. การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) การทำแห้งวิธีนี้ประกอบด้วย การทำให้ผลิตภัณฑ์แช่แข็ง และทำให้น้ำหรือของเหลวในอาหารระเหิด ขั้นตอนการแช่แข็งจะรวดเร็วเพื่อทำให้น้ำในอาหารกลายเป็นผลึกขนาดเล็ก ซึ่งผลึกขนาดเล็กมีผลทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก อาหารแช่แข็งจะถูกส่งไปยังห้องที่เป็นสูญญากาศสูงเพื่อไล่โมเลกุลของน้ำในสภาพของแข็ง (ผลึกน้ำแข็ง) ให้กลายเป็นไอโดยไม่ต้องผ่านการเป็นน้ำ อุณหภูมิการแช่แข็งประมาณ -30 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า การทำแห้งวิธีนี้มีต้นทุนที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ ประมาณ 5 เท่า

**2.4.3 การผลิตนมผง**

นมผง หรือผลิตภัณฑ์นมในสภาพแห้ง อาจจะผลิตมาจากน้ำนมดิบหรือสิ่งที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์นม นมในสภาพแห้งจะทำโดยการเอาน้ำจำนวนมากออกจากนมหรือผลิตภัณฑ์นม ซึ่งมีหลักการ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก นมจะถูกนำมาทำให้เข้มข้นโดยใช้เครื่องระเหยให้เหลือปริมาตรตามต้องการ ขั้นตอนที่สอง นมจะถูกนำมาทำให้แห้ง โดยทั่วไปจะใช้การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง หรือการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่ก่อนที่จะมาถึงขบวนการดังกล่าวนี้ นมยังต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ อีกหลายขั้นตอน ดังนี้ (เสาวลักษณ์, 2539; วรรณาและวิบูลย์ศักดิ์, 2531; Onwulata, 2005; Kon, 1972)

- การให้ความร้อนล่วงหน้า (preheat treatment) นมก่อนที่จะทำเป็นผงต้องมีการทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ เพื่อควบคุมส่วนประกอบและลักษณะของน้ำนมให้คงอยู่ อุณหภูมิขั้นต่ำที่ใช้ในการให้ความร้อนต้องใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการพาสเจอไรเซชัน จึงจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากต่อการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในนมผง และยังสามารถยับยั้งการเกิดกรดและกลิ่นอันไม่พึงประสงค์อันเนื่องจากปฏิกิริยาต่างๆ ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์ไลเปส ซึ่งมีอยู่ในน้ำนมจะย่อยไขมันในนมโดยการไฮโดรไลซิส และผลที่ได้จะเกิดกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืนในนม แต่นมที่ผ่านการทำให้แห้งแล้วจะไม่เกิดปัญหานี้ ถ้าผ่านความร้อนอย่างถูกต้องและเพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์นี้ได้ แต่ยังมีเอนไซม์บางชนิดซึ่งเป็นส่วนน้อยที่ยังมีกิจกรรม (activity) อยู่ภายหลังการทำแห้ง และจะมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา นมผงไว้เป็นเวลานาน และทำความเสียหายให้กับนมผง การให้ความร้อนแก่น้ำนมก่อนด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หรือในช่วงอุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หรืออุณหภูมิเพียง 55 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สามารถทำลายเอนไซม์ไลเปสได้ ส่วนเอนไซม์ชนิดอื่น เช่น โปรติเอส เปอร์ออกซิเดส และคะตะเลส อาจจะมีอยู่ในน้ำนม แต่ก็สามารถทำลายได้โดยการให้ความร้อนล่วงหน้า มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่หลงเหลืออยู่ในนมผง แต่ไม่มีผลต่อการทำให้นมผงเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บมากนัก

ความสามารถในการละลายของนมผงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่อให้ความร้อนล่วงหน้าสูงขึ้นกว่า 87.8 องศาเซลเซียส เพราะจะช่วยให้โปรตีนมีความคงตัวมากขึ้น แต่ไม่สูงจนเกินไปจนทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ เพราะจะทำให้ความสามารถในการละลายลดต่ำลง

- การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือการทำให้เม็ดไขมันแตกตัว (homogenization) การโฮโมจีไนเซชันถูกนำมาใช้เพื่อทำให้อนุภาคของไขมันเล็กลง และมีขนาดเท่าๆ กัน กระจายตัวอยู่ทั่วไปในน้ำนม นอกจากนี้ การโฮโมจีไนเซชันยังช่วยกระจายส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายให้อยู่ทั่วในน้ำนมด้วย ถ้านมที่จะนำมาทำแห้งนั้นไม่ใช่หางนม ควรจะนำมาทำการโฮโมจีไนเซชันก่อน การโฮโมจีไนเซชันจะทำที่อุณหภูมิ 50-75 องศาเซลเซียส ใช้ความดันประมาณ 140-210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ประมาณ 3000 psi) นมผงที่ผลิตโดยผ่านการโฮโมจีไนเซชันไขมันในนมจะกระจายอยู่ทั่วไปในนมผง ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของนมผงได้ด้วย

- การทำให้น้ำนมเข้มข้น (concentration) การทำให้นมเข้มข้นก่อนการทำให้แห้งเป็นผงเป็นการปฏิบัติเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของเครื่องทำแห้ง คือทำให้เครื่องทำการผลิตได้มากขึ้น เป็นการลดค่าใช้จ่าย สำหรับวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยจะช่วยควบคุมขนาดและปริมาณของออกซิเจนในนม การทำให้น้ำนมเข้มข้นนิยมทำในสภาวะสูญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 65-80 องศาเซลเซียส และน้ำนมจะทำให้เข้มข้นโดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 30-55 ถ้าทำให้เข้มข้นมากกว่านี้จะเกิดการตกผลึกของแลคโตสเป็นโมเลกุลใหญ่ ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันของหัวฉีดในเครื่องทำแห้ง อีกทั้งยังต้องใช้ปั๊มกำลังสูงขึ้น นอกจากนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำนมเป็นผลทำให้ทำแห้งยาก นมผงที่ผลิตได้จะละลายน้ำได้ไม่ดี ขนาดอนุภาค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของนมผงจะเพิ่มขึ้น และสมบัติเชิงหน้าที่ของนมผงจะต่ำ นมผงที่ผลิตโดยทำให้เข้มข้นก่อนจะสามารถเก็บไว้ได้ดีกว่านมผงที่ผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เข้มข้น เนื่องจากอนุภาคของนมผงที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่า และมีปริมาณออกซิเจนอยู่น้อย

**2.4.4 การบรรจุนมผง**

Onwulata (2005) รายงานว่า การบรรจุนมผงจะแตกต่างกันทั้งวัสดุที่ใช้ ขนาดของภาชนะ วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ปริมาณไขมันในนมผง และชนิดของนมผง วัสดุที่นิยมใช้ คือ ถุงที่เคลือบกันน้ำและมีพลาสติกอยู่ข้างในอีกชั้นหนึ่ง ถุงที่ทำจากพอลิเอทิลีนและบรรจุในกระป๋อง

- การบรรจุหางนมผง ภาชนะที่เหมาะสำหรับนมทำแห้งควรจะกันไม่ให้ความชื้น อากาศ แสงสว่าง และแมลงผ่านเข้าไปได้ มีความทนทานในการใช้งาน ทนต่อการกัดกร่อน มีราคาถูก ง่ายต่อการบรรจุและปิดผนึก ขนย้ายได้สะดวกและเปิดใช้ได้ง่าย ในโรงงานอุตสาหกรรมในการเก็บหางนมผง จะบรรจุหางนมผงไว้ในถัง ถุง กล่องกระดาษ ภาชนะขวดแก้ว หรือบรรจุกระป๋อง แต่ในทางการค้าส่วนมากจะผลิตและบรรจุใส่ถุงเคลือบ ซึ่งในการซื้อขายนั้นทางรัฐบาลของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้ใช้ถุงกระดาษสีน้ำตาลหนา 6 ชั้น ซึ่งภายในบุด้วยพอลิเอทิลีนหนา 3 มิลลิเมตร วัตถุประสงค์ของการใช้ถุงแบบนี้เพื่อป้องกันแมลง

การบรรจุหางนมผง ในโรงงานจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ มีการชั่งมวลอย่างถูกต้อง ถุงที่ชั่งมวลแล้วจะเคลื่อนต่อไปเพื่อให้ถุงใหม่เข้ามา ถุงที่บรรจุหางนมผงเรียบร้อยแล้วจะถูกเย็บปากถุงด้วยเครื่องจักรอีกครั้งหนึ่ง การบรรจุใส่ถุง ทางโรงงานผู้ผลิตจะใช้ถังบรรจุเพื่อส่งสินค้าซึ่งบรรจุได้ปริมาณมาก ถังที่ใช้จะทำจากโลหะต่างๆ แต่ที่นิยมมากคือ ถังอะลูมิเนียม เนื่องจากมีราคาถูกและเบา ถังชนิดนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ใช้งานได้สะดวก โดยใช้เครื่องยก ซึ่งเป็นประโยชน์ในการลดแรงงานคนและประหยัดค่าถุงที่ใช้บรรจุนม นอกจากนี้ยังสามารถลดปัญหาเรื่องฝุ่นผงได้ด้วย ถังนี้เมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก และทำความสะอาดได้ง่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การบรรจุในกล่องกระดาษ ประกอบด้วยกระดาษแข็ง ฟอยล์ และพลาสติก ซึ่งปัจจุบันถูกนำมาใช้มากขึ้นแทนภาชนะที่เป็นแก้วและโลหะใช้ในการบรรจุเพื่อขายปลีก ภาชนะบรรจุต้องป้องกันความชื้นได้ดี แบบที่ใช้ทั่วไปจะเป็นการเชื่อมประกบซ้อนกันระหว่างฟอยล์กับกระดาษและผนังด้านในเคลือบด้วยพอลิเอทิลีนอีกชั้นหนึ่ง

- การบรรจุนมผงจากนมสด ในการผลิตนมผงจากนมสดเพื่อทำการส่งออกหรือขายปลีกจำเป็นต้องบรรจุนมผงด้วยการกำจัดแก๊สออกซิเจนเพื่อชะลอการเกิดออกซิเดชัน การเกิดกลิ่นที่ไม่ดีของนมผงเนื่องจากเกิดออกซิเดชัน ดังนั้นจำเป็นต้องยับยั้งการเกิดปฏิกิริยานี้ โดยการกำจัดปริมาณออกซิเจนจะทำการบรรจุภายใต้สูญญากาศ ปริมาณออกซิเจนสุดท้ายที่เหลือในช่องว่างอากาศ (headspace) ของภาชนะบรรจุจะต้องน้อยกว่าร้อยละ 2 นมผงที่มีคุณภาพดีจะต้องมีปริมาณออกซิเจนต่ำ และสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 6 เดือนหรือมากกว่า โดยปราศจากการเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์

การบรรจุโดยการแทนที่แก๊สออกซิเจนด้วยก๊าซอื่น ถูกนำมาใช้เพื่อให้เหลือปริมาณออกซิเจนที่ต่ำในภาชนะบรรจุ โดยการนำกระป๋องที่บรรจุนมผงวางเรียงกันบนสายพานและเคลื่อนเข้าสู่ช่องสูญญากาศ อากาศจะถูกดูดออกอย่างรวดเร็ว (ภายใน 60 วินาที) และสภาพสูญญากาศจะมีความดันลดลง หลังจากให้ดูดอากาศออกเป็นเวลา 2-5 นาที ความดันใหม่จะถูกสร้างขึ้นโดยบรรยากาศของไนโตรเจน หรืออาจผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็ได้ หลังจากนั้นภาชนะบรรจุจะถูกนำมาปิดผนึกด้วยเครื่องปิดฝา การบรรจุโดยการแทนที่ด้วยแก๊สจะต้องทำอย่างรวดเร็วหลังจากนมผงผ่านการทำแห้งแล้ว มิฉะนั้นคุณภาพอาจเสื่อมลงได้ระหว่างการเก็บรักษา นมผงซึ่งยังอุ่นๆ อยู่ จะต้องนำมากำจัดแก๊สออกซิเจนออกโดยเร็วภายใต้สูญญากาศ จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี จากการกำจัดแก๊สออกซิเจนนี้ จะทำให้ไขมันในนมผงมีโอกาสสัมผัสกับแก๊สออกซิเจนน้อยมาก จึงเป็นการป้องกันไขมันจากการถูกออกซิไดส์ได้เป็นอย่างดี ทำให้นมผงสามารถเก็บได้นาน

**2.5 การเสริมวิตามินในนม**

น้ำนมที่เสริมวิตามิน เป็นน้ำนมที่เติมวิตามินบางชนิดลงไปให้มีปริมาณมากขึ้น วิตามินที่นิยมเติมต่อควอร์ตของน้ำนมได้แก่ วิตามินเอ (4,000 หน่วย) วิตามินดี (400 หน่วย) วิตามินบีหนึ่ง (1 มิลลิกรัม) วิตามินบีสอง (2 มิลลิกรัม) และไนอะซิน (10 มิลลิกรัม) ส่วนวิตามินซีไม่นิยมเติมเพราะจะถูกทำลายระหว่างการพาสเจอไรเซชันและระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2541)

การเสริมคุณค่าอาหารของนมโดยการเติมวิตามินดี สามารถทำได้ง่ายโดยการใส่สารละลายที่มีวิตามินดี 2 หรือดี 3 ลงในน้ำนม และเติมวิตามินได้ในขั้นตอนที่เหมาะสมของกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการหรืออื่นๆ ในผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การเสริมวิตามินดีพบมากในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการผลิตนมบรรจุขวดและนมระเหย นอกจากนี้ยังทำกันใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเทศสวีเดน สหราชอาณาจักร เยอรมัน และประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ คณะอนุกรรมการเกี่ยวกับอาหารเพื่อสุขภาพกระทรวงสาธารณสุขและกรมอนามัยของสกอตแลนด์แนะนำให้นมผงเสริมวิตามินควรมีปริมาณวิตามินดีต่ำกว่า 1,000 หน่วยสากล (IU) ต่อนมผง 100 กรัม และวิตามินดีปริมาณ 400 หน่วยสากลต่อวัน ถือว่าเพียงพอสำหรับทารกและเด็กเล็กที่มีอายุต่ำกว่า 5 ขวบ (เสาวลักษณ์, 2539) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาระดับของการเสริมวิตามินในน้ำนมอีกมากมาย ซึ่งหนึ่งในหลายงานวิจัยได้รายงานการตรวจสอบปริมาณวิตามินเอในนมผงขาดมันเนย 17 ตัวอย่าง พบว่า มี 1 ตัวอย่างที่มีการเสริมวิตามินในปริมาณที่มากเกินไป และ 7 ตัวอย่างที่เสริมวิตามินต่ำกว่ามาตรฐาน และตามรายงานขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา จะต้องมีการตรวจสอบระดับการเสริมวิตามินเอ และ/หรือวิตามินดีในผลิตภัณฑ์นมทุกปี การเสริมวิตามินในนมขาดมันเนยเมื่อนำมาละลายกลับแล้วจะต้องมีปริมาณวิตามินเหมือนกับน้ำนมปกติ ซึ่งก็คือมีวิตามินเอ 2000 IU/qt และวิตามินดี 400 IU/qt (Lloyd et al., 2004)

Murphy และคณะ (2001) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ระดับวิตามินเอและดีในผลิตภัณฑ์นมที่มีการเสริมวิตามิน ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC) ทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 4 ปี โดยเก็บตัวอย่างนมเต็มมันเนย นมที่มีไขมันร้อยละ 2 นมที่มีไขมันร้อยละ1 และนมขาดมันเนย 2 ครั้งต่อปี จากโรงงานมากกว่า 31 แห่งในนิวยอร์ก พบว่า ใน 516 ตัวอย่าง มีการเสริมวิตามินเอร้อยละ 44.5 ที่ได้รับการยินยอมตามข้อกำหนด และพบวิตามินดีร้อยละ 47.7 ใน 648 ตัวอย่าง และตัวอย่างนมส่วนใหญ่ที่ไม่ได้รับการยอมรับเป็นนมที่ไม่ได้มีการเสริมวิตามิน

ปริมาณวิตามินที่จะทำการเสริมในน้ำนมนั้น จะต้องคำนึงถึงปริมาณการบริโภคต่อวัน เพื่อจะได้คุณประโยชน์สูงสุด และไม่เกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ซึ่งทางองค์การอาหารและยาได้กำหนดค่าสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี (Thai Recommended Daily Intakes : Thai RDI) ดังแสดงในตาราง 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 2.4** ค่าสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป

| สารอาหาร | ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (Thai RDI) |
|---|---|
| **Fat-soluble vitamins** | |
| Vitamin A | 800 μg RE* (2,664 IU) |
| Vitamin D | 5 μg (200 IU) |
| Vitamin E | 10 mg α - TE** (15 IU) |
| Vitamin K | 80 μg |
| **Water-soluble vitamins** | |
| Vitamin $B_1$ (Thiamin) | 1.5 mg |
| Vitamin $B_2$ (Riboflavin) | 1.7 mg |
| Niacin | 20 mg |
| Vitamin $B_6$ | 2 mg |
| Folic acid | 200 μg |
| Pantothenic acid | 6 mg |
| Biotin | 150 μg |
| Vitamin $B_{12}$ | 2 μg |
| Vitamin C | 60 mg |

หมายเหตุ * RE = Retinol equivalent ; 1 RE = 1 μg retinol

** α - TE = α - Tocopherol equivalent ; 1α - TE = 1mg D-α-tocopherol

ที่มา : ประยุกต์จากองค์การอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved