บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าว (*Oryza sativa* L.)

ข้าว เป็นธัญพืชอาหารที่มีความสำคัญของประเทศในแถบเขตร้อน (Tropical) และเขตกึ่งร้อน (Sub-tropical) ของโลก ถึงแม้ว่าข้าวถูกจัดให้เป็นพืชในเขตร้อน (Tropical crop) แต่พบว่ามีการปลูกข้าวแพร่หลายทั่วโลก ทั้งในบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่น (Temperate) โดยข้าวเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในสภาพนิเวศวิทยาและสภาพทางภูมิอากาศที่แตกต่างกันมาก (ทรงเชาว์, 2545)

ข้าวเป็นพืชล้มลุกใบเลี้ยงเดี่ยวที่สำคัญมากทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง โดยประชากรในภูมิภาคเอเชียนิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก นักพฤกษศาสตร์ได้จำแนกข้าวตามหลักอนุกรมวิธาน (Taxonomy) เรียงลำดับไว้ดังนี้ (อรรควุฒิ, 2527)

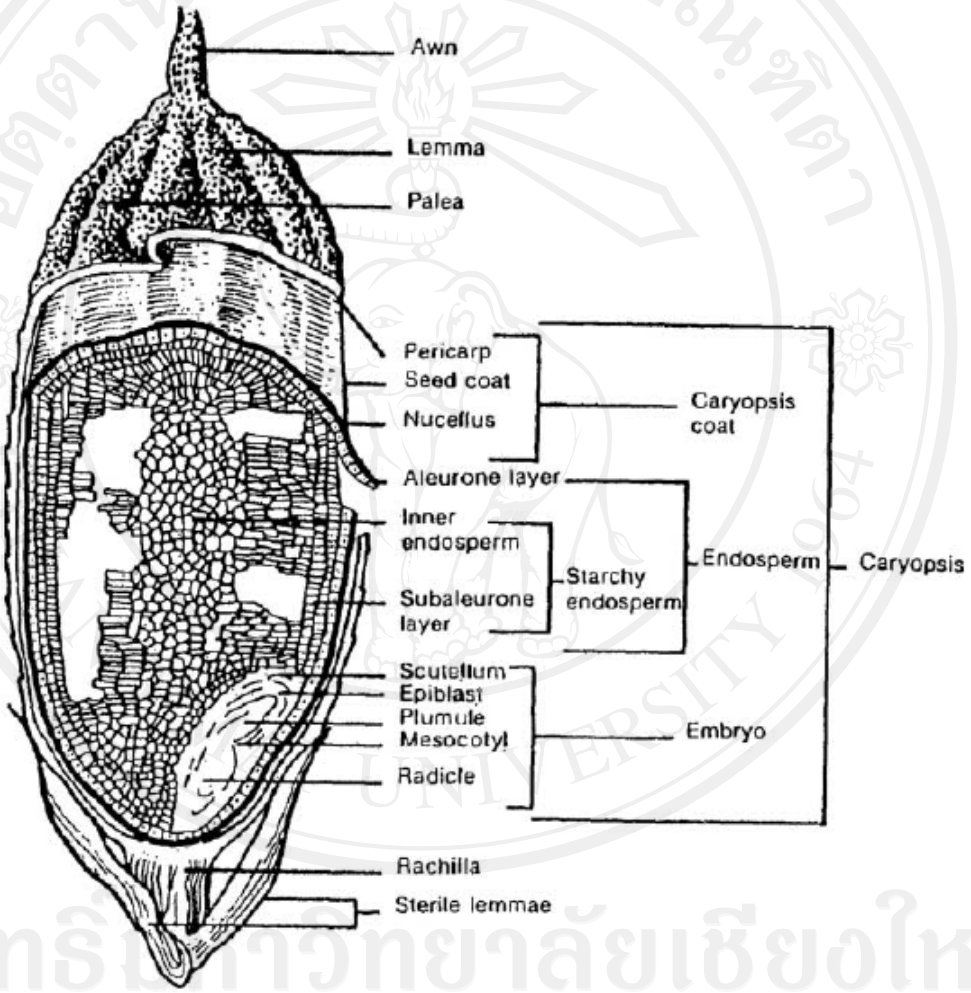
Kingdom (อาณาจักร)	Plant (พืช)
Division	*Spermatophyta*
Class	*Angiospermae*
Subclass	*Monoctyledoneae*
Order	*Graminles*
Family (ตระกูล)	*Graminae*
Genus (สกุล)	*Oryza*
Species (ชนิด)	*Sativa*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างของข้าว

ข้าวเป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียก เมล็ดข้าว (Rice fruit, Rice grain หรือ Rice seed) ซึ่งทางพฤกษศาสตร์จะหมายถึงผล (Fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (Single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดียวชนิดลอยตัว (Superior ovary) ของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกย่อยที่เกิดรวมกันอยู่เป็นช่อดอก ผลเดี่ยวนี้จะติดแน่นอยู่กับผนังรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (Pericarp) ซึ่งเมื่อผลสุกหรือแก่จะเป็นผลแห้ง (Dry fruit)

ที่ไม่แตก (Indehiscent fruit) เรียกว่า เมล็ด (Caryopsis grain) ที่มีเยื่อหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด (Seed coat) เชื่อมรวมกันอย่างแนบแน่นโดยตลอดผลหรือเมล็ดข้าว โดยจะมีลักษณะแตกต่างกันตามพันธุ์ในด้านขนาด รูปร่าง สี การมีหาง (Awn) หรือไม่มีหาง และขน (Pubescence) หรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง (Hull หรือ Husk)



ภาพ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: Zhou *et al.* (2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมล็ดข้าว (ภาพ 2.1) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว (หรือผล) เรียกว่า แกลบ (Hull หรือ Husk) และ ส่วนเนื้อผล หรือผลแท้ (True fruit หรือ Caryopsis grain) หรือ ข้าวกล้อง (Caryopsis หรือ Brown rice) โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วน ดังนี้ (อรอนงค์, 2547)

1. แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่หรือเปลือกหุ้มเมล็ด (Lemma) เปลือกเล็ก (Palea) ขน หาง ขั้วเมล็ด (Rachilla) และกลีบรองเมล็ด (Sterile lemmas) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (Pedicel)

1.1 เปลือกใหญ่หรือเปลือกหุ้มเมล็ด เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง (Dorsal side) มีขนาดใหญ่ อาจมีหาง หรือไม่มีก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้น (Nerves) ตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้านในลักษณะขบอยู่ด้านบนอย่างแนบสนิท ประมาณ 2/3 ของเปลือกทั้งหมดตามความยาวของแนวเมล็ด

1.2 เปลือกเล็ก เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง (Ventral side) ที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ให้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น

รอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กอาจทำให้ข้าวกล้องเป็นเส้นตามไปด้วย ในข้าวบางพันธุ์ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดขาว (Polishing) แล้วยังมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสาร (Milled rice) เรียกว่า สาแหรกข้าว

1.3 ขน จะขึ้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขนแต่เป็นส่วนน้อย ขนนี้คือเซลล์ของผิวนอก (Epidermal cell) ที่เจริญไปเป็นขนเพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยของน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดจากสภาวะภายนอกเมล็ด และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยช่วยให้เมล็ดติดไปกับคน สัตว์ หรือสิ่งของต่าง ๆ ที่มีโอกาสสัมผัสกับเมล็ด จนทำให้เมล็ดหลุดติดไปด้วย

1.4 หาง เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอก (Apiculus) ในบางพันธุ์อาจสั้นหรือยาวหรือไม่มี โดยหางจะมีหน้าที่ในการกระจายพันธุ์คล้ายขน

1.5 ขั้วเมล็ด เป็นก้านสั้น อยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่และยังคงติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

1.6 กลีบรองเมล็ด เป็นกลีบ 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกันใต้สุดของเมล็ด

2. ข้าวกล้อง หรือเนื้อในผล ประกอบด้วย

2.1 เยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเป็นเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีน้ำตาลแดง สีน้ำตาลม่วง หรือสีน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญ ในชั้นเยื่อหุ้มผลนี้แบ่งได้เป็น 3 ชั้นย่อย คือ

- เอพิคาร์พ หรือ เอกโซคาร์พ (Epicarp หรือ Exocarp) เป็นผิวหรือผนังหรือเปลือกที่อยู่นอกสุด มีลักษณะเรียบ เหนียว และเป็นมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว

- เมโซคาร์พ หรือ ไฮพอเดิร์ม (Mesocarp หรือ Hyperderm) เป็นผนัง

- เอนโดคาร์พ (Endocarp) เป็นเยื่อชั้นใน

2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้นรูปยาว เรียงตามขวางและมีผนังบางประมาณ 5 ไมครอนกั้น ภายในเซลล์มีไขมันและสารสีเช่นเดียวกันกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสี

2.3 นิวเซลลัส (Nucellus) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่แยกออกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน

2.4 เยื่อชั้นแอลิวโรน (Aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นที่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อมสั้น จะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น เซลล์แอลิวโรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ด ลงมาถึงจุดเชื่อมระหว่างใบเลี้ยงกับเยื่อหุ้มรากอ่อนซึ่งอยู่ด้านในของเมล็ด เซลล์ของแอลิวโรนแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ เซลล์ส่วนที่หุ้มรอบเนื้อของเมล็ดจะมีรูปร่างลูกบาศก์และมีไซโตพลาซึม (Cytoplasm) อยู่หนาแน่น ในเซลล์ยังมีกลุ่มโปรตีนที่มีรูปร่าง (Protein bodies) กลุ่มไขมัน (Lipid bodies) และสารอื่น ๆ เช่น นิวเคลียส (Nucleus) ไมโครบอดี (Microbodies) ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) เอนโดพลาสสมิก เรทิคิวลัม (Endoplasmic reticulum) เวสิเคิล (Vesicles) และพลาสทิด (Plastids) เป็นต้น ส่วนเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะจะบาง มีไซโทพลาสซึมน้อย รูปร่างยาว มีกลุ่มไขมัน และกลุ่มโปรตีนน้อย มีเวสิเคิลมาก เป็นต้น ส่วนผนังเซลล์จะมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสประกอบอยู่

2.5 คัพภะ (Embryo) จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ ส่วนท้องเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (ridicule) และใบเลี้ยง (Scutellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจึงอุดมด้วยโปรตีนและไขมันในส่วนต่าง ๆ

2.6 เนื้อเมล็ด หรือเนื้อข้าว (Endosperm) มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณร้อยละ 80 ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนชั้นซับแอลิวโรน (Subaleurone layer) เป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน และส่วนที่สตาร์ชเนื้อในของเมล็ด (Starchy endosperm) ในชั้นซับแอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ภายใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะกลมใหญ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ขนาด 1 ถึง 2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5 ถึง 0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกัน (ขนาด 2 ถึง 3.5 ไมครอน) แต่ในส่วนเนื้อในของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่เท่านั้นโดยแทรกอยู่ในระหว่างเม็ดแป้ง (Starch granule) ที่มีอยู่มากอัดแน่นรวมกันเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ท (Compound starch) อยู่ภายในเซลล์พาเรนไคมา (Parenchyma cells) ที่มีผนังเซลล์บาง มีรูปร่างรีหรือสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เข้าสู่ใจกลางเมล็ด โดยด้านนอกของเมล็ดข้าว เม็ดสตาร์ทจะมีลักษณะรีและยาวมากกว่าด้านในเมล็ด (อรอนงค์, 2547)

ความสำคัญของข้าว

ข้าวถือได้ว่าเป็นอาหารหลักประจำชาติและเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญอันดับหนึ่งของประเทศไทย ข้าวเป็นที่นิยมบริโภคทั้งภายในประเทศและมีการส่งออกเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน โดยมีชาวนา 3.7 ล้านครัวเรือน จากเกษตรกรทั้งประเทศ 5.6 ล้านครัวเรือน หรือคิดเป็นร้อยละ 66 ของครัวเรือนเกษตรกรทั้งหมด พื้นที่เพาะปลูกข้าวปีละประมาณ 56 ถึง 58 ล้านไร่ ได้ผลผลิตปีละประมาณ 28 ถึง 30 ล้านตันข้าวเปลือก มูลค่าปีละประมาณ 180,000 ถึง 200,000 ล้านบาท ซึ่งเป็นรายได้หลักที่หล่อเลี้ยงเกษตรกรในระดับรากหญ้า อีกทั้งยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญสามารถสร้างรายได้และนำเงินตราเข้าประเทศปีละประมาณ 80,000 ถึง 100,000 ล้านบาท รวมทั้งเป็นพืชที่สร้างความมั่นคงด้านอาหารด้วย (กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

ในด้านความนิยมบริโภคข้าวของคนไทยนั้น ทางภาคเหนือ คนพื้นเมืองส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวเหนียวที่มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว เมื่อนำไปนึ่งจะได้ข้าวที่นุ่ม เหนียว และสามารถทิ้งไว้ได้ตั้งแต่ตอนเช้าจรดเย็นโดยที่ข้าวจะยังไม่แข็ง ตัวอย่างข้าวที่นิยม เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง สำหรับคนไทยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็มีรสนิยมในการบริโภคคล้ายคลึงกับทางภาคเหนือ คือนิยมบริโภคข้าวเหนียวมากกว่าข้าวเจ้า เนื่องจากข้าวเหนียวสามารถพกพาได้สะดวกต่อการนำไปเป็นอาหารกลางวันช่วงระหว่างไปทำไร่ทำนาซึ่งค่อนข้างอยู่ไกลจากหมู่บ้าน ส่วนทางภาคกลางนั้นนิยมบริโภคข้าวเจ้าที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอม เช่น ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แต่สำหรับคนภาคใต้นิยมบริโภคข้าวเจ้าที่ค่อนข้างร่วนแต่ไม่แข็ง มักไม่นิยมบริโภคข้าวขาวดอกมะลิเพราะเป็นข้าวอ่อนและหุงไม่ขึ้นหม้อ ข้าวขาวดอกมะลิจะนิยมบริโภคเฉพาะในกลุ่มคนที่มีฐานะดีในเขตตัวเมืองเท่านั้น (อัมมารและวิโรจน์, 2533)

จากการที่ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวส่งออกขายต่างประเทศได้มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทำให้รัฐบาลต้องดูแลการค้าขายให้เกิดความยุติธรรมทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย จึงมีกฎระเบียบและข้อตกลงจัดทำขึ้นเป็นประกาศกระทรวงพาณิชย์ ออกเป็นพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าขาออก ตั้งแต่ พ.ศ. 2503 และแก้ไขเพิ่มเติมเป็นฉบับที่ 2 เมื่อ พ.ศ. 2522 ต่อมาในปี พ.ศ. 2540 จึงปรับปรุง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลี่ยนแปลงเพิ่มความเหมาะสมต่อภาวะการผลิตและการค้าข้าวในปัจจุบันให้มากขึ้น คือ “ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540” ให้ใช้ประกาศนี้แทนประกาศที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ จัดทำเป็นคู่มือมาตรฐานข้าวไทย พ.ศ. 2540 (Thai Rice Standard 1997) มีรายละเอียดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เพื่อประโยชน์ในการซื้อขายข้าวโดยเฉพาะการส่งออก (อรอนงค์, 2547)

คุณค่าทางโภชนาการของข้าว

บุญหงส์ (2547) กล่าวว่า ในเมล็ดข้าว นอกจากจะให้คาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ช (Starch) ในปริมาณร้อยละ 70 ถึง 80 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญแล้ว เมล็ดข้าวยังประกอบด้วยสารอาหารอื่น ๆ ได้แก่

1. โปรตีน (Protein) จะมีอยู่หนาแน่นที่บริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice) และบริเวณคัพภะ (Embryo) มากกว่าที่ส่วนอื่น ๆ ของเมล็ด อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าว เช่น สภาพของดิน ลมฟ้าอากาศ การให้ปุ๋ย เป็นต้น จากการวิเคราะห์พบว่า ข้าวสารไทยจะมีโปรตีนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 6.5

2. ไขมัน (Fat) พบเฉพาะที่ชั้นในสุดของเยื่อหุ้มเมล็ด (Aleurone layer) และที่ส่วนของคัพภะ ดังนั้นในการขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสารขาว (Milled rice) จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมันไปอยู่ในรูปของรำข้าวเป็นปริมาณมากกว่าร้อยละ 80

3. แร่ธาตุ (Minerals) ส่วนใหญ่จะพบอยู่บริเวณผิวนอกของเมล็ด ปริมาณของแร่ธาตุในเมล็ดข้าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน ปริมาณแร่ธาตุที่ได้จากปุ๋ย และยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอีกด้วย แร่ธาตุที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวค่อนข้างมาก ได้แก่ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโปแตสเซียม สำหรับธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้ยาก และยังมีแร่ธาตุอีกกลุ่มหนึ่งมีอยู่ในเมล็ดข้าวแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ได้แก่ แคลเซียม คลอรีน ซิลิคอน เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส โซเดียม และสังกะสี สำหรับธาตุเหล็กและแคลเซียมนั้นจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

4. วิตามิน (Vitamin) ส่วนใหญ่จะพบที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในสุดและที่คัพภะ จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวสารขาวมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง วิตามินที่มีอยู่ค่อนข้างมากได้แก่ ไนอะซิน (Niacin) วิตามินที่มีอยู่ปริมาณน้อยได้แก่ ไทอะมีน (Thiamine) หรือวิตามินบี 1 และ ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) หรือวิตามินบี 2 วิตามินในเมล็ดข้าวอาจสูญเสียไปได้ง่ายเมื่อเก็บข้าวไว้ในรูปของข้าวสารในโรงเก็บที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงควรเก็บไว้ในรูปของข้าวเปลือกในโรงเก็บที่มีอากาศถ่ายเทได้ดีหรือมีอุณหภูมิต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อรอนงค์ (2547) และ ทรงเชาว์ (2545) ได้จำแนกข้าวที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากในประเทศไทยโดยหลัก ๆ เป็น 2 ชนิด คือ

1. ข้าวเจ้า (Non-glutinous rice; *Oryza sativa*) มีลักษณะเนื้อของเมล็ดข้าวสารขาวใส เมื่อหุงหรือนึ่งจนสุก ข้าวสุกจะร่วน ไม่เกาะตัวติดกัน สีขาวขุ่น โดยองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ช (Starch) ซึ่งประกอบด้วยแอมิโลเพกติน (Amylopectin; polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันแบบ Branch chain) ประมาณร้อยละ 70 ถึง 90 และ แอมิโลส (Amylose; polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันแบบ Linear chain) ประมาณร้อยละ 10 ถึง 30 ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วคิดเป็นร้อยละที่แตกต่างกัน จะให้ลักษณะของข้าวสุกที่มีความร่วน แข็ง หรือนุ่มแตกต่างกัน

2. ข้าวเหนียว (Glutinous rice; *Oryza glutinosa*) มีลักษณะเนื้อของเมล็ดข้าวสารสีขาวขุ่น เมื่อนำมานึ่งให้สุกข้าวสุกจะจับตัวติดกัน เหนียวติดมือ และมีลักษณะเมล็ดที่ใส เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ช ซึ่งมีแอมิโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 95 ถึง 100 ที่ให้ลักษณะเหนียวแก่ข้าวเหนียว โดยมีแอมิโลสเพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่มีเลย

อัตราส่วนของแอมิโลเพกตินและแอมิโลสในเมล็ดข้าวสารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณสมบัติในการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน คือ ข้าวเจ้ามีแอมิโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ ปริมาณแอมิโลสที่สูงทำให้ข้าวเจ้าสุกมีลักษณะร่วนและแข็ง ส่วนข้าวเหนียวหรือข้าวที่มีแอมิโลสต่ำจะดูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวจ้าว ข้าวเหนียวสุกจึงมีลักษณะเหนียวและนุ่มกว่า

คุณภาพในการรับประทาน และคุณภาพในการแปรรูปของข้าวมีผลจากปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ ความแตกต่างของพันธุ์ข้าว กระบวนการแปรรูปข้าว และอายุการเก็บรักษา (ความใหม่-เก่า) ของข้าว ปริมาณความชื้นเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ดข้าวทั้งทางตรง และทางอ้อม คือ ปริมาณความชื้นของข้าว ทั้งในข้าวเปลือก และข้าวสาร ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อ และผู้ขายเกี่ยวข้องโดยตรง และในทางอ้อมนั้น ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าว ข้าวที่เก็บมาใหม่จะมีความชื้นร้อยละ 22 ถึง 26 จึงทำการตากแห้งเพื่อให้มีความชื้นลดลงเหมาะสมกับการเก็บรักษา ซึ่งระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาข้าว คือ ไม่เกินร้อยละ 14 (อรอนงค์, 2547)

ข้าวเปลือกซึ่งผ่านการขัดสีจนขาวทำให้สูญเสียสารอาหารบางชนิด แสดงดังตาราง 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 คุณค่าทางอาหารบางชนิดของข้าวกล้อง และข้าวขาว ต่อปริมาณข้าวสาร 100 กรัม น้ำหนักสด

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวเจ้าหอมมะลิ		ข้าวเหนียว	
	ข้าวกล้อง	ข้าวสารขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวสารขาว
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	366.00	356.00	362.00	355.00
โปรตีน (กรัม)	7.00	6.20	7.40	6.30
ไขมัน (กรัม)	2.40	1.10	2.60	0.60
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	79.10	80.40	77.30	81.00
เถ้า (กรัม)	1.60	0.30	1.30	0.40
เหล็ก (มิลลิกรัม)	3.70	0.60	1.60	0.80
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	27.00	3.00	18.00	7.00
ไอโอดีน (ไมโครกรัม)	2.20	2.00	1.20	0.20
ไลซีน (มิลลิกรัม)*	264.00	202.00	290.00	218.00
ทรีโอนีน (มิลลิกรัม)*	248.00	232.00	269.00	264.00

ที่มา: กองโภชนาการ (2544) และ *กองโภชนาการ (2533)

การที่ข้าวสารที่ผ่านการขัดสีแล้วมีคุณค่าทางโภชนาการที่ด้อยกว่าข้าวกล้องนั้น อรอนงค์ (2547) ได้เสนอว่าควรปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสารโดยการเติมสารอาหาร (Enrichment) ที่สูญเสียไปเนื่องจากการขัดข้าวกล้องเป็นข้าวสาร โดยเฉพาะปริมาณวิตามิน แร่ธาตุ และกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน หรือการเสริมสารอาหาร (Fortification) ที่มีคุณค่าทางโภชนาการโดยอาจทำได้ 2 วิธีการ คือ การผสมสารอาหารที่จะเติมหรือเสริมในรูปผงคลุกกับเมล็ดข้าว ซึ่งจะต้องเขียนระบุไว้ที่ภาชนะบรรจุข้าวสารเพื่อแจ้งให้ผู้บริโภคทราบว่ามีการเติมสารอาหารลงไป และควรระบุว่าไม่ต้องล้างข้าวสารก่อนการหุงหรือเทน้ำข้าวที่หุงทิ้งไปเพราะจะทำให้สารอาหารที่เติมสูญเสียไปกับน้ำที่ล้างได้ อีกวิธีการหนึ่ง คือ การผสมสารอาหารที่จะเติมให้เข้ากันในรูปผงแล้วผสมคลุกกับข้าวสาร ต่อจากนั้นจึงเคลือบข้าวสารด้วยสารเคลือบที่ไม่ละลายในน้ำลงบนผิวข้าว เพื่อช่วยให้สารอาหารที่เติมลงไปไม่ละลายไปกับน้ำ และควรระบุไว้ที่ภาชนะบรรจุเช่นเดียวกับวิธีการแรก ซึ่งการเติมหรือเสริมสารอาหารวิธีดังกล่าวจะเหมาะกับข้าวเจ้ามากกว่าข้าวเหนียว เนื่องจากข้าวเหนียวจำเป็นต้องแช่ข้าวก่อนนำไปนึ่งและเทน้ำที่แช่นั้นทิ้งไปจึงอาจทำให้สารอาหารสูญเสียไปได้มากกว่าข้าวเจ้าที่ไม่จำเป็นต้องเทน้ำที่ใช้หุงทิ้งไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวเหนียว (Glutinous rice, *Oryza glutinosa*)

ข้าวเหนียว หมายถึง ข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกข้าวเหนียว เอาเปลือกออกและขัดเอารำออกเช่นเดียวกับข้าวขาวข้าวเจ้า ข้าวเหนียวขาวจะมีเมล็ดสีขาวทึบ ข้าวชนิดนี้มีลักษณะของส่วนที่เป็นเนื้อเยื่ออาหาร (Endosperm) จะมีสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงต้มจะเหนียว เมล็ดเกาะตัวกันดี เนื่องจากข้าวชนิดนี้มีส่วนของแอมิโลเพคตินในปริมาณมากกว่าร้อยละ 95 โดยมีน้ำหนักของส่วนแอมิโลสน้อยมากไม่เกินร้อยละ 8 เมื่อนำเมล็ดข้าวเหนียวไปหุงหรือนึ่งจะมีลักษณะเหนียวจับตัวติดกันแน่น เหนียวติดมือ และมีลักษณะใส โดยข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความเหนียวนุ่มไม่เท่ากัน ข้าวที่มีความเหนียวนุ่มมากกว่าเป็นเพราะข้าวชนิดนั้นมีปริมาณแอมิโลเพคตินสูงกว่า ตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์ดี เช่น พันธุ์ กข เลขคู่ พันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง เป็นต้น (ไพโรจน์ และคณะ, 2549)

การผลิตและบริโภคข้าวเหนียวเป็นไปอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน สำหรับประเทศไทยนั้น ข้าวเหนียวจัดเป็นอาหารหลักประจำวันสำหรับคนไทยส่วนใหญ่ โดยพบได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือที่มีอาหารประจำภาคที่มักจะรับประทานกับข้าวเหนียว เช่น ส้มตำ ลาบ ซุปหน่อไม้ แจ่ว น้ำพริก เป็นต้น และได้มีการนำวัฒนธรรมการบริโภคข้าวเหนียวนี้ติดตัวไปแม้จะย้ายถิ่นฐานไปอยู่ในภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก โดยทั่วไปคนไทยส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือนิยมบริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก ในขณะที่คนไทยในประเทศส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคข้าวเหนียวซึ่งผ่านการแปรรูปเป็นขนมหวานแล้ว เช่น ข้าวหลาม ข้าวต้มมัด หรือขนมหวานจากแป้งข้าวเหนียว เช่น ขนมถั่วแปบ บัวลอย เป็นต้น (เดือนเพ็ญ และคณะ, 2547 และ ไพโรจน์ และคณะ, 2549)

จากรายงานการสำรวจสถิติการเพาะปลูกข้าวเหนียวประจำปีในปี 2549/50 พบว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวเหนียวในประเทศไทยมีทั้งสิ้นประมาณ 18.1 ล้านไร่ มีผลผลิตรวมทั้งสิ้นกว่า 6.3 ล้านตัน โดยมีผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ต่อไร่เฉลี่ยเท่ากับ 367 กิโลกรัม สำหรับพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกข้าวเหนียวมากที่สุดได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือคิดเป็นร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งประเทศ รองลงมาได้แก่ ภาคเหนือ ร้อยละ 29 ภาคกลาง ร้อยละ 0.4 และภาคใต้ ร้อยละ 0.2 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550)

ด้านสถานการณ์ราคาข้าวเหนียว พบว่า มีความผันผวนน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ ในระหว่างปีต่อปีในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ทั้งยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันปริมาณการส่งออกไปต่างประเทศในรูปของข้าวคุณภาพดีและแป้งข้าวเหนียวก็เพิ่มขึ้นทั้งปริมาณและมูลค่าการส่งออก ในขณะที่ตลาดภายในประเทศพบว่ามีการเคลื่อนย้ายข้าวเหนียวจากภาคอีสานไปยังภาคเหนือเพื่อการบริโภคอยู่เป็นประจำทุกปี โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยเป็นแหล่งผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวเหนียวแหล่งใหญ่ของประเทศ อีกทั้งราคาไม่ค่อยผันผวนและตลาดมีความต้องการค่อนข้างสูง ข้าวเหนียวจึงมีความมั่นคงทางด้านการผลิตและราคาซึ่งนำไปสู่การสร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร และรายได้ของครัวเรือนเกษตรกรผู้ผลิต (เดือนเพ็ญ และคณะ, 2547) จากรายงานของส่วนสารสนเทศปัจจัยการผลิตและราคา ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร (2550) และสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2551) พบว่า ราคาข้าวเปลือกเหนียวภายในประเทศที่เกษตรกรขายได้ที่ไร่นาเฉลี่ยปีเพาะปลูก 2549/50 เท่ากับ 10,778 บาทต่อตัน ส่วนปีเพาะปลูก 2550/51 มีราคาเฉลี่ยเท่ากับ 8,792 บาทต่อตัน

สำหรับด้านการค้าระหว่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยส่งออกข้าวเหนียวประมาณ 2.7 แสนตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 5 พันล้านบาท ส่วนการส่งออกข้าวเหนียวในปี พ.ศ. 2550 (เดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม) มีปริมาณ 1.6 แสนตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 4 พันล้านบาท (Thai Rice Exporters Association, 2007) โดยตลาดส่งออกที่สำคัญของไทยได้แก่ ทวีปเอเชีย คิดเป็นร้อยละ 43 ของปริมาณการส่งออกข้าวเหนียวทั้งหมดของไทย รองลงมาคือประเทศสหรัฐอเมริกา และสหภาพยุโรป เมื่อพิจารณารายประเทศ พบว่า ประเทศที่นำเข้าข้าวเหนียวเป็นหลัก ได้แก่ ประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย สิงคโปร์ ไต้หวัน จีน และฮ่องกง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 75 ของปริมาณการส่งออกข้าวเหนียวทั้งหมด (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กระทรวงพาณิชย์, 2549)

ข้าวพาร์บอยล์ หรือ ข้าวนึ่ง (Parboiled rice)

ข้าวพาร์บอยล์ถือกำเนิดจากประเทศอินเดีย โดยชาวอินเดียรู้จักกระบวนการแปรรูปข้าวพาร์บอยล์มานานตั้งแต่สมัยโบราณโดยไม่มีหลักฐานแน่ชัดว่าใครเป็นผู้ค้นพบกรรมวิธีการผลิตข้าวพาร์บอยล์แต่ได้สืบทอดกันต่อมาจนถึงปัจจุบันและยังเป็นที่นิยมของกลุ่มชนในแถบเอเชียใต้ เช่น อินเดีย ศรีลังกา บังกลาเทศ ปากีสถาน และเนปาล นอกจากนี้ยังได้แพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลก ได้แก่ ทวีปแอฟริกาโดยเฉพาะแอฟริกาใต้ ประเทศในแถบทะเลแคริเบียน และแถบเอเชียตะวันออกกลาง นอกจากนี้การบริโภคข้าวพาร์บอยล์ยังได้แพร่หลายไปยังประเทศในทวีปยุโรปและอเมริกาโดยการอพยพย้ายถิ่นฐานของชาวเอเชียใต้ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายความนิยมในการบริโภคข้าวพาร์บอยล์เพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2547)

กระบวนการพาร์บอยล์ (Parboiling) คือ กระบวนการนึ่งข้าวทั้งเปลือกก่อนการสีข้าว ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวหักน้อยลง อีกทั้งข้าวที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนย้าย (Migrate) ของสารอาหารต่าง ๆ จากบริเวณเปลือกหุ้มเมล็ดที่มีสารอาหารต่าง ๆ เช่น วิตามินบี และแร่ธาตุบางชนิดในปริมาณสูงเข้าไปยังเมล็ด ดังนั้นข้าวพาร์บอยล์จึงหมายถึง ข้าวที่ผ่านกระบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้สุกด้วยกระบวนการให้ความร้อนชื้น (Hydrothermal process) โดยนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำ ทำให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดจนอิ่มตัว แล้วจึงแยกน้ำออกจากข้าวเปลือก ทำการนึ่งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำเพื่อให้เนื้อในเมล็ดที่มีเปลือกหุ้มสุกบางส่วนโดยเฉพาะที่ผิวรอบนอกของเมล็ด แล้วทำข้าวเปลือกนึ่งให้แห้ง จนมีความชื้นใกล้เคียงกับข้าวเปลือกธรรมดา คือ ประมาณร้อยละ 13 ถึง 14 และต้องเก็บรักษาหรือพักข้าวไว้อย่างน้อย 7 วันก่อนนำไปผ่านกระบวนการสีข้าวเหมือนข้าวเปลือกธรรมดาเพื่อจะทำให้ได้ปริมาณข้าวสารเมล็ดเต็มเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2547)

กรรมวิธีการทำข้าวพาร์บอยล์หรือกระบวนการพาร์บอยล์ เป็นการปฏิบัติต่อข้าวเปลือกก่อนที่จะนำไปสีโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้าวเปลือกธรรมดาโดยเฉพาะข้าวเปลือกที่มีคุณภาพในการสีต่ำหรือข้าวเปลือกเปียกให้เป็นข้าวเปลือกนึ่งแล้วทำให้แห้งแล้วสีเป็นข้าวสารนึ่งซึ่งก็คือข้าวพาร์บอยล์นั่นเอง การทำข้าวพาร์บอยล์มีส่วนช่วยลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสี ลดการสูญเสียแร่ธาตุอาหารในบางส่วนของเมล็ดข้าวระหว่างการสี และเพิ่มคุณค่าการใช้ประโยชน์จากข้าวเปลือกคุณภาพการสีต่ำหรือข้าวเปลือกเปียก นอกจากนี้ยังมีจุดประสงค์ทางการค้า คือ ผลิตตามความต้องการของผู้บริโภคบางกลุ่มที่เคยชินต่อการบริโภคข้าวนึ่งอีกด้วย (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

กระบวนการแปรรูปข้าวพาร์บอยล์ (Parboiling)

กระบวนการแปรรูปให้ได้ข้าวพาร์บอยล์ที่มีคุณภาพดี ถึงแม้ว่าจะต้องใช้ข้าวเปลือกที่ให้คุณภาพการสีต่ำ หรือข้าวเปลือกเปียก หรือข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง แต่ยังจำเป็นต้องคัดเลือกลักษณะข้าวเปลือกที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงลักษณะของเปลือกหุ้มแข็งที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวอย่างสมบูรณ์ ไม่มีรอยแมลงกัดกินหรือเกิดเชื้อรา มีสีของเปลือกและชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในสีอ่อน ไม่มีขนติดอยู่ ไม่เป็นข้าวเปลือกอ่อน เมล็ดลีบ

อรอนงค์ (2547) ได้อธิบายถึงกระบวนการแปรรูปข้าวพาร์บอยล์ ดังนี้ คือเริ่มจากการทำความสะอาดข้าวเปลือกการคัดแยกข้าวเปลือก แล้วนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำ ผ่านการต้มหรือนึ่ง การทำแห้ง การสีข้าวเปลือกที่ต้มหรือนึ่งแล้ว การแยกสีเมล็ดข้าวพาร์บอยล์ที่เข้มออกจากสีปกติ และการบรรจุ ตลอดจนการเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป สำหรับรายละเอียดแต่ละขั้นตอนของกระบวนการแปรรูปข้าวพาร์บอยล์เป็นดังนี้

1. การทำความสะอาด มีจุดประสงค์ในการแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวเปลือก เช่น เศษหญ้า เมล็ดพืชอื่น กรวด ดิน ทราย ตลอดจนลักษณะข้าวเปลือกที่ไม่เหมาะสม โดยใช้เครื่องทำความสะอาดเช่นเดียวกับการทำความสะอาดข้าวเปลือกธรรมดาทั่วไป แต่เพิ่มเครื่องทำความสะอาดโดยวิธีการลอยข้าวเปลือกในน้ำเพื่อแยกหิน ดิน ทราย และข้าวเปลือกที่ไม่สมบูรณ์ เช่น เมล็ดที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ท้องไข่มาก เมล็ดลีบ เมล็ดอ่อน ซึ่งมักจะเบากว่าข้าวเปลือกธรรมดา จึงลอยขึ้นบนผิวน้ำทำให้สามารถแยกออกได้ง่าย

2. การคัดแยกข้าวเปลือก มีจุดประสงค์ในการแยกขนาดข้าวเปลือกให้มีความหนาของเมล็ดสม่ำเสมอ โดยใช้หลักการแยกด้วยระบบความถ่วงจำเพาะของข้าวเปลือก จะทำให้ได้ข้าวเปลือกที่มีขนาดรูปร่าง และความหนาใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลดีในการแช่ การนึ่ง การทำแห้ง ตลอดจนการสีให้ได้ข้าวสารพาร์บอยล์ที่มีสีสม่ำเสมอ

3. การแช่ข้าวเปลือก มีจุดประสงค์ให้น้ำที่แช่ซึมผ่านเปลือกเข้าสู่เนื้อในเมล็ดจนอิ่มตัว แต่ไม่ทำให้เปลือกนอกปริแตกออกจากกัน โดยทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 ในปัจจุบันได้ปรับปรุงกรรมวิธีแช่ข้าวเปลือกจากเดิมใช้อุณหภูมิห้องซึ่งใช้เวลานาน มาเป็นการแช่ด้วยน้ำอุ่นประมาณ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการแช่อย่างน้อย 3 ชั่วโมง แต่ไม่ควรเกิน 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนซ์เพื่อให้เกิดการอุ้มน้ำและพองตัวมากเกินไป ซึ่งมีผลทำให้เปลือกข้าวปริแตกออกก่อนการนึ่งหรือต้มข้าวเปลือก

อุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกจะส่งผลต่อ กลิ่น รสชาติ หรือกลิ่นรสของข้าวพาร์บอยล์ การใช้อุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาในการแช่ที่นานจะมีผลต่อการย่อยสลายของสารอาหารที่มีในเมล็ดข้าว เช่น เอนไซม์อะมิเลสจะย่อยสลายสตาร์ชทำให้ได้น้ำตาลมอลโทสและกลูโคส และน้ำจะช่วยให้การย่อยสลายของโปรตีนชนิดอัลบูมินเกิดกรดอะมิโนหลายชนิด กรดอะมิโนประเภทที่มีธาตุซัลเฟอร์อยู่ในองค์ประกอบ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารซัลไฟด์อินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งสามารถรวมตัวกับสารประกอบแอลกอฮอล์ที่ได้จากการสลายตัวของสารลิกนินจากเปลือกข้าว กลายเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่น เช่น ไทโอแอลกอฮอล์ และไทโออีเทอร์ ซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะของข้าวพาร์บอยล์ แต่ถ้าทำการแช่ข้าวเปลือกนานเกิน 8 ชั่วโมง จะเกิดกลิ่นหมักจากการเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียในน้ำที่ใช้แช่ข้าว ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ชอบ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนการแช่ให้ใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดกลิ่น หรือกลิ่นรสที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ โดยอาจใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับระบบความดันอุทกสถิต (Hydrostatic pressure) เพื่อลดระยะเวลาการแช่ โดยรักษาอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ตลอดเวลา เข้ามาประยุกต์ใช้

4. การนึ่งด้วยไอน้ำ มีจุดประสงค์ในการเพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังจากการขัดสีและเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งให้เก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น โดยความร้อนจากไอน้ำมีผลทำให้หยุดการงอกของข้าวเปลือก ทำให้ทำลายสปอร์ของเชื้อรา ไข่แมลง ตัวอ่อนของแมลง หรือมอด และเอนไซม์จะถูกทำลาย มีผลให้สามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นานกว่าข้าวธรรมดา ทั้งยังทำให้ข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีขึ้นเนื่องจากการที่สารอาหารที่ละลายได้ในน้ำจะกระจายเข้าไปภายในเมล็ดข้าวใต้เปลือกข้าว รวมทั้งชั้นเนื้อเยื่อที่หุ้มเนื้อในเมล็ด เช่น เพอริคาร์พแอลิวโรน และคัพภะซึ่งอุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ จะนิ่มขึ้นและติดแน่นกับเนื้อในเมล็ด ทำให้แยกออกยากในขั้นตอนการขัดสีข้าวเปลือกนึ่ง

ขั้นตอนการนึ่งด้วยไอน้ำมีผลต่อคุณภาพและคุณลักษณะของข้าวพาร์บอยล์ภายหลังการขัดสี ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องคือปริมาณน้ำที่ข้าวเปลือกดูดซับไว้จากขั้นตอนการแช่น้ำ เวลาในการนึ่งด้วยไอน้ำ อุณหภูมิ หรือความดันของไอน้ำ มีผลทำให้ได้ข้าวพาร์บอยล์ที่มีลักษณะเมล็ดข้าวที่ต่างกัน ดังนี้

ข้าวนึ่งสมบูรณ์ (Fully parboiled rice) หมายถึงข้าวพาร์บอยล์ที่สตาร์ชภายในเนื้อเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนซ์อย่างสมบูรณ์ทั้งเมล็ดโดยเฉพาะในใจกลางเมล็ดข้าว

ข้าวนึ่งบางส่วน (Partially or surface parboiled rice) หมายถึง ข้าวพาร์บอยล์ที่สตาร์ชภายในเนื้อเมล็ดข้าวเกิดการเจลาทิไนซ์เฉพาะผิวนอกของเนื้อในเมล็ด ส่วนใจกลางเมล็ดยังมีสีขาวขุ่นเนื่องจากยังไม่เกิดการเจลาทิไนซ์

ข้าวนึ่งสีอ่อน (Light parboiled rice) หมายถึงข้าวพาร์บอยล์ที่ผ่านไอน้ำด้วยอุณหภูมิต่ำและเวลาสั้น เพื่อให้ได้ข้าวพาร์บอยล์สีอ่อน

ข้าวนึ่งสีเข้ม (Dark parboiled rice) หมายถึงข้าวพาร์บอยล์ที่ผ่านไอน้ำด้วยอุณหภูมิสูงและเวลานาน เพื่อให้ได้ข้าวพาร์บอยล์สีเข้ม

ลักษณะคุณภาพของข้าวพาร์บอยล์ที่มีผลจากกระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำคือสีของเมล็ดข้าว กล่าวคือเมื่อข้าวเปลือกผ่านการแช่น้ำและได้รับความร้อนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพต่อสารอาหารที่มีอยู่ในข้าวเปลือก เช่น สีน้ำตาลจากเปลือกหุ้มจะละลายในน้ำ และซึมเข้าสู่เนื้อเมล็ดข้าวจากความร้อนและความดันของไอน้ำ นอกจากนี้สตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์แล้วถูกทำให้เย็นลงและแห้งจึงเกิดการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ทำให้เกิดการสะท้อนแสงต่างไปจากเดิม น้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากเอนไซน์ย่อมสลายสตาร์ชในขั้นตอนการแช่ ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนทำให้เกิดกระบวนการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Maillard reaction) และสีน้ำตาลจะเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำร้อนจาก 100 องศาเซลเซียสถึง 121 องศาเซลเซียส และส่วนของสาตาร์ชที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 65 องศาเซลเซียสถึง 135 องศาเซลเซียส เช่นกัน

5. การทำแห้ง มีจุดประสงค์ในการลดความชื้นในข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการขัดสีและการเก็บรักษา กระบวนการทำแห้งข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งแตกต่างจากการทำแห้งข้าวเปลือกธรรมดา เนื่องจากข้าวเปลือกมีความชื้นสูงและเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวที่แตกต่างจากข้าวเปลือกปกติเพราะสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ ทำให้ลักษณะเนื้อเกาะตัวกันแน่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้งระยะแรกจนข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณร้อยละ 16 ควรหยุดพักการให้ความร้อนเพื่อป้องกันการแตกร้าวของเปลือกข้าว และการเกิดรอยร้าวในเนื้อเมล็ดข้าว โดยอาจหยุดพักประมาณ 2 ถึง 48 ชั่วโมง การหยุดพักทำให้เกิดการปรับสภาพของความชื้นภายในเมล็ดข้าวเพื่อให้ได้ข้าวสารพาร์บอยล์หลังจากการขัดสีเป็นข้าวเต็มเมล็ดมากขึ้น เมล็ดข้าวไม่ร้าวหรือหักง่ายในขั้นตอนการขัดสี

6. การปรับสภาพ มีจุดประสงค์ในการพักข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งแล้วให้มีการปรับสภาพเกิดการกระจายความชื้นและอุณหภูมิให้ทั่วถึงสม่ำเสมอ เรียกว่า ระยะปรับสภาพซึ่งควรเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมงจนถึง 7 วัน โดยระยะปรับสภาพหรือการพักข้าวนี้ ควรควบคุมอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิเย็น มีการระบายความร้อนและความชื้นอย่างสม่ำเสมอ จนข้าวเปลือกนึ่งมีความชื้นคงที่ประมาณร้อยละ 12 ถึง 14 จึงจะเหมาะสมในการขัดสีต่อไป

7. การสีข้าวเปลือก มีจุดประสงค์ในการกะเทาะเปลือกข้าวออกเป็นข้าวพาร์บอยล์ โดยผ่านขั้นตอนการสีทำนองเดียวกันกับการสีข้าวเปลือกธรรมดา เริ่มจากการทำความสะอาดข้าวเปลือกให้ปราศจากสิ่งเจือปน ผ่านการคัดขนาดให้มีความหนา ความยาว และน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ใกล้เคียงกันเพื่อให้สะดวกในการจัดระบบเครื่องกะเทาะเปลือกข้าวนึ่งให้เหมาะสม และทำให้เมล็ดหักน้อย โดยเปลือกของข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งจะสามารถแยกจากเนื้อในเมล็ดดีกว่าข้าวเปลือกธรรมดาเนื่องจากผ่านการแช่ การนึ่ง และการทำแห้งมาแล้ว นอกจากนี้เนื้อในเมล็ดซึ่งสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์สมบูรณ์ทำให้เนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวแข็ง แกร่ง ไม่มีรอยร้าว จากการประสานกันของเมล็ดสตาร์ชที่อุ้มน้ำและพองตัวขณะเจลาทิไนซ์จึงทำให้เมล็ดข้าวไม่เปราะและหักในขณะกะเทาะเปลือก และการขัดสีข้าวทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดเกือบร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับการกะเทาะเปลือกและขัดขาวข้าวเปลือกที่คุณภาพต่ำ

8. การคัดแยกสีข้าวพาร์บอยล์ที่ผ่านการขัดสี มีจุดประสงค์ในการคัดแยกเมล็ดข้าวพาร์บอยล์ที่มีสีคล้ำเกินไป หรือมีสีอื่นที่นอกเหนือจากสีข้าวพาร์บอยล์ปกติที่มีสีนวลออกเหลือง หรือสีฟางข้าว ในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องคัดแยกสีข้าวพาร์บอยล์ระบบอัตโนมัติ โดยใช้หลักการโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric) ซึ่งทำงานจากความเข้มของแสงที่สะท้อนเมื่อเมล็ดข้าวเคลื่อนที่ผ่านแสง ทำให้เมล็ดข้าวสีปกติ และสีคล้ำมีลักษณะที่แตกต่างกันซึ่งช่วยให้ระบบสามารถคัดแยกข้าวสีคล้ำออกจากข้าวสีปกติได้ (อรอนงค์, 2547)

จากกระบวนการแปรรูปข้าวพาร์บอยล์ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้เป็น 3 ขั้นตอนที่สำคัญหลัก ๆ ดังนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การแช่ (Soaking) โดยการนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำซึ่งอาจจะเป็นน้ำเย็นหรือน้ำร้อนก็ได้ น้ำเย็นจะใช้เวลาในการแช่ 2 ถึง 3 วัน ส่วนน้ำร้อนจะใช้เวลาในการแช่ที่ลดลง

↓

2. การต้มหรือนึ่ง (Steaming) โดยการนำข้าวเปลือกจากขั้นตอนแรกมาต้มหรือนึ่ง เพื่อให้แป้งภายในเมล็ดเกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinize)

↓

3. การทำแห้ง (Drying) โดยการตากแดดธรรมดาหรือผ่านเครื่องอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของข้าวให้เหลือประมาณร้อยละ 12 ถึง 14 เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปขัดสี

การเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ดข้าวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปข้าวพาร์บอยล์

1. เปลือกเมล็ดจะปริเนื่องจากข้าวขยายตัว

2. ถ้ามีการแช่ข้าวเปลือกในน้ำเย็นนานหลายวันจะทำให้เกิดการหมัก (Fermentation) ส่งผลให้ข้าวพาร์บอยล์มีกลิ่นเหม็น ซึ่งแก้ไขได้โดย แช่น้ำอุ่นหรือน้ำร้อนแทนน้ำเย็น

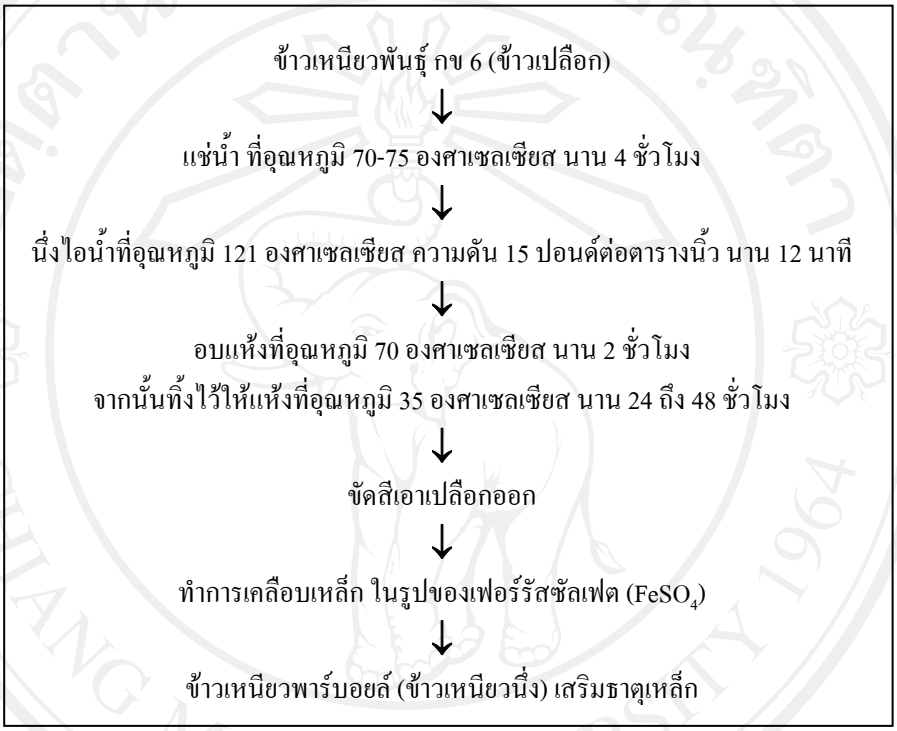
3. ขณะแช่ข้าวเปลือก ความดันในน้ำที่ใช้แช่จะสูงกว่าในเมล็ดข้าวทำให้แร่ธาตุและสารอาหารต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นแอริวโลนของเมล็ดซึมเข้าไปในส่วนของเมล็ดข้าวสาร ทำให้ข้าวพาร์บอยล์มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

4. ในขั้นตอนการนึ่ง ความร้อนจะทำให้แป้งข้าวสุก ซึ่งแป้งข้าวนี้จะทำหน้าที่เสมือนเป็นกาวประสานเชื่อมรอยแตกร้าวภายในเมล็ดให้หายไป และเม็ดแป้งสุกจะขยายตัวจับเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ช่องว่างภายในเม็ดข้าวสารที่เป็นลักษณะท้องไข่หายไป ดังนั้น ข้าวพาร์บอยล์เมื่อทำให้แห้งแล้วนำไปขัดสีจึงได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวที่สูง มีปริมาณข้าวหักน้อย และเมล็ดข้าวสารที่ได้จะใส ไม่เป็นท้องไข่

5. ข้าวเปลือกเมื่อแช่น้ำ แร่ธาตุและสารอาหารต่าง ๆ ที่อยู่บริเวณเปลือกข้าวและเนื้อเยื่อชั้นแอริวโลนจะซึมเข้าไปส่วนที่เป็นแป้งข้าว เมื่อนำไปนึ่งอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารเหล่านี้ ส่งผลให้ทำให้ข้าวพาร์บอยล์ที่ผ่านการนึ่งให้สุกอาจจะมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอ่อนบ้าง โดยจะไม่เป็นสีขาวนวลเช่นข้าวสารปกติ ซึ่งความเข้มของสีจะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่วิธีการแช่และนึ่ง (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไพโรจน์ และคณะ (2549) ได้ศึกษาถึงการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวนึ่ง (ข้าวพาร์บอยล์) และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยได้ทำการพาร์บอยล์ข้าวเหนียว (ข้าวเปลือก) ให้เป็นข้าวเหนียวพาร์บอยล์ (ข้าวเหนียวนึ่ง) และทำการเสริมธาตุเหล็กเพิ่มเติมในข้าว โดยกระบวนการนี้ได้นำมาเป็นต้นแบบในงานวิจัยชิ้นนี้ แสดงดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 แผนผังกระบวนการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์ต้นแบบ
ที่มา: ไพโรจน์ และคณะ, 2549

คุณภาพข้าวพาร์บอยล์

ข้าวพาร์บอยล์คุณภาพดี พิจารณาจากสิ่งต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. สี	ควรเป็นสีเหลืองอ่อน หรือน้ำตาลอ่อน
2. กลิ่น	เมื่อหุงสุกแล้วควรมีกลิ่นไม่พึงประสงค์น้อยที่สุด
3. คุณภาพการขัดสีข้าว	สีได้ข้าวเมล็ดเต็มมาก มีข้าวหักน้อย
4. ลักษณะเมล็ด	ใส แกร่ง ไม่มีท้องไข่ ขนาดรูปร่างเมล็ดเหมือนข้าวธรรมดา
5. ลักษณะข้าวสุก	เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดร่วนไม่ติดกัน (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ ในด้านคุณภาพการเก็บรักษา พบว่า ข้าวพาร์บอยล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมันได้ยากเนื่องจากเอนไซม์ไลเปสถูกทำลายด้วยความร้อน และในสภาพการเก็บที่มีดอากาศถ่ายเทได้สะดวกจะช่วยให้เกิดการเหม็นหืนช้ากว่าการเก็บที่สว่าง การบรรจุในถุงที่ปิดมิดชิดไม่มีอากาศถ่ายเทจะช่วยลดการสูญเสียวิตามินได้มากกว่าข้าวสารธรรมดา นอกจากนี้การที่เมล็ดข้าวพาร์บอยล์มีความแข็งกว่าข้าวสารธรรมดา ทำให้สามารถทนต่อการทำลายและการกัดกินจากแมลงได้ดี จึงสามารถเก็บข้าวพาร์บอยล์ได้นานกว่าข้าวสารธรรมดา (บุปผา, 2548)

ปัจจัยที่ต้องควบคุมในการแปรรูปข้าวพาร์บอยล์

1. ข้าวเปลือกหรือวัตถุดิบสำหรับทำข้าวพาร์บอยล์ ควรมีสีของเปลือกและสีชั้นเปลือกรำอ่อน เช่น ขาว (ฟาง) หรือน้ำตาล เมล็ดอยู่ในสภาพสะอาด ไม่มีรอยแมลงกัดกินหรือมีเชื้อรา

2. ต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาการแช่ให้พอเหมาะ เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นและสีที่ไม่ดีของข้าวพาร์บอยล์ โดยในการแช่ควรทำให้มีการหมุนเวียนของน้ำและข้าวด้วย เพื่อป้องกันความร้อนสะสมซึ่งจะทำให้เกิดเมล็ดผิดปกติ (Deform grain)

3. อุณหภูมิและเวลาขณะนึ่งต้องควบคุมให้พอเหมาะ ไม่ควรให้สูงเกินไปเพราะจะมีผลต่อสีของข้าวพาร์บอยล์ ลักษณะเมล็ดผิดปกติ และข้าวสารจะแข็งเกินไปเมื่อใช้เวลานึ่งนาน

4. การทำให้แห้ง ต้องเป็นไปอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ ถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไปและทำให้แห้งรวดเร็ว เมล็ดข้าวจะแตกร้าว จะพบเมล็ดหักมากหลังการขัดสี

5. ความชื้นของข้าวพาร์บอยล์ไม่ควรเกินร้อยละ 14 เมื่อเก็บไว้ในยุ้งฉางหรือโกดัง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการทำลายของจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราต่าง ๆ (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

สำหรับข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวพาร์บอยล์ แสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวพาร์บอยล์

ข้อดี	ข้อด้อย
1. การนึ่งและอบแห้งทำให้เปลือกข้าวแตกกะเทาะเปลือกง่ายกว่าข้าวธรรมดา	1. ใช้เวลาและพลังงานในการขัดสีมากกว่าข้าวธรรมดา
2. คุณภาพการสีดีกว่า ปริมาณข้าวหักน้อยกว่าข้าวธรรมดา	2. อาจมีกลิ่นและรสที่ยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่คุ้นเคยกับข้าวธรรมดามากนัก
3. เก็บรักษาได้นานกว่าข้าวธรรมดาเพราะเอนไซม์ไลเปสถูกทำลาย	3. ข้าวพาร์บอยล์เพาะไม่งอก แต่ข้าวธรรมดาเพาะแล้วงอก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวพาร์บอยล์ (ต่อ)

ข้อดี	ข้อด้อย
4. เมล็ดข้าวพาร์บอยล์มีลักษณะใส ไม่เป็นท้องไข่ 5. มีวิตามินบีและอี สูงกว่าข้าวสารธรรมดา (พันธุ์เดียวกัน) 6. ข้าวพาร์บอยล์จะหุงขึ้นหม้อกว่าข้าวธรรมดา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดสตาร์ช ทำให้มีการดูดซึมน้ำที่ดีขึ้นและขยายตัวทางด้านปริมาตรมากขึ้น 7. ข้าวพาร์บอยล์ที่นึ่งหรือหุงสุกแล้วมีลักษณะร่วน ไม่เกาะติดกันเท่าข้าวธรรมดา เมล็ดข้าวคงรูปร่าง ไม่แฉะ และสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าข้าวธรรมดา 8. ย่อยง่ายกว่าข้าวธรรมดาเพราะแป้งสุกไปครั้งหนึ่งแล้ว และสายโซ่ของโมเลกุลกลูโคสจะถูกทำลาย	4. มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าข้าวธรรมดา 5. กระบวนการผลิตทำให้สีของเมล็ดข้าวที่ขัดสีได้มีสีคล้ำลง เนื่องจากสีของเปลือกข้าวซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวระหว่างการนึ่งหรือเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด 6. เศษรำมีไขมันมากทำให้เกิดการอุดตันบนตะแกรงร่อนในขณะขัดสีเอารำออก เพราะว่ามีไขมันจากเนื้อข้าวโดยจะแพร่ออกมาสะสมอยู่ในชั้นของรำมากขึ้น 7. สารยับยั้งการเหม็นหืนที่มีในข้าวธรรมดา เช่น โทโคเฟอรอล (Tocopherol) จะถูกทำลายระหว่างการให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าว อาจทำให้เกิดการเหม็นหืนโดยกระบวนการออกซิเดชันได้ง่าย

ที่มา: เครือวัลย์ (2534) และ กรมวิชาการเกษตร (2549)

กรรมวิธีการผลิตข้าวพาร์บอยล์ได้มีการพัฒนาขึ้นเรื่อยมานับแต่อดีตเพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวพาร์บอยล์ให้ดียิ่งขึ้น ปัจจุบันการผลิตข้าวพาร์บอยล์ทางอุตสาหกรรมในประเทศแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกา เป็นระบบที่ทันสมัยมีการใช้เครื่องจักรเครื่องทุ่นแรงเข้ามาช่วย บางโรงงานจะเป็นระบบอัตโนมัติทั้งหมด สำหรับในประเทศไทยก็มีโรงผลิตข้าวพาร์บอยล์ที่ทันสมัยหลายแห่ง ซึ่งเทคนิคการผลิตนั้นมักจะไม่เป็นที่เปิดเผย (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

การผลิตข้าวพาร์บอยล์ในประเทศไทย

แหล่งผลิตข้าวพาร์บอยล์ที่สำคัญในหลายจังหวัดทางภาคกลางประเทศไทยได้ขยายการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากตามความต้องการข้าวพาร์บอยล์ของตลาดต่างประเทศที่ทำให้ผู้ประกอบการโรงงานหรือโรงสีข้าวที่ผลิตข้าวพาร์บอยล์ มีผลประกอบการค่อนข้างดีในช่วง 5 ถึง 7 ปีที่ผ่านมาจนมีแรงจูงใจให้มีการขยายกำลังการผลิตให้เพิ่มมากขึ้น ขณะที่โรงสีข้าวที่ผลิตข้าวพาร์บอยล์ซึ่งหยุดการผลิตไปก็เริ่มปรับปรุงเปิดดำเนินการขึ้นมาใหม่ ประกอบกับโรงสีข้าวขาวที่ประสบปัญหา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขาดทุนจากการสีข้าวขาวได้หันมาลงทุนผลิตข้าวพาร์บอยล์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังการผลิตข้าวพาร์บอยล์ภายในประเทศขยายตัวเพิ่มกว่าเท่าตัว จากเดิมมีกำลังการผลิตเพียง 21,850 ตันต่อวัน จากผู้ประกอบการประมาณ 50 ถึง 60 ราย และปัจจุบันคาดว่าจะมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ระดับประมาณ 42,300 ตันต่อวัน โดยมีผู้ประกอบการกว่า 100 รายในปี พ.ศ. 2545

นอกจากนี้ยังมีผู้ประกอบการโรงสีข้าวเพื่อผลิตข้าวพาร์บอยล์รายใหม่ที่กำลังจะเข้ามาในระบบเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบริษัทไทยมาพรรณเทรดดิ้ง จำกัด ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ของประเทศ เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จคาดว่าจะมีกำลังการผลิตสูงถึง 4,000 ตันต่อวัน รวมทั้งมีโรงสีข้าวขาวอื่น ๆ ที่สนใจเปลี่ยนมาทำการผลิตข้าวพาร์บอยล์ โดยเฉพาะโรงสีในแถบจังหวัดนครปฐม ฉะเชิงเทรา สุพรรณบุรี เป็นต้น ส่งผลให้มีจำนวนโรงสีข้าวที่ผลิตข้าวพาร์บอยล์ในปัจจุบันไม่ต่ำกว่า 100 โรง จำนวนโรงสีที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังการผลิตข้าวพาร์บอยล์เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับการขยายตัวของตลาดค้าข้าวพาร์บอยล์ที่มีอัตราการเติบโตต่อเนื่อง แต่คนไทยยังรู้จักข้าวพาร์บอยล์ในวงจำกัดเนื่องจากข้าวพาร์บอยล์ไม่ค่อยได้รับความนิยมบริโภคภายในประเทศมากนัก ความจำเป็นจึงอยู่ที่การพัฒนาปรับปรุงข้าวพาร์บอยล์ของไทยให้เป็นที่ต้องการของคนในประเทศ รวมทั้งพัฒนาการผลิตและคุณภาพเพื่อรักษาตลาดส่งออกที่สำคัญและหาแนวทางในการขยายตลาดส่งออกดังกล่าวให้มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นต่อไป (ศูนย์วิจัยธนาคารกรุงศรีอยุธยาจำกัด (มหาชน), 2547)

การตลาด และการส่งออกข้าวพาร์บอยล์

ข้าวพาร์บอยล์ เป็นสินค้าออกประเภทข้าวของไทยที่มีอนาคตไกลเป็นที่น่าจับตามอง โดยเฉพาะข้าวพาร์บอยล์คุณภาพดี (ข้าวพาร์บอยล์ 100%) ถึงแม้จะมีการบริโภคภายในประเทศไม่มากนัก แต่ข้าวพาร์บอยล์ก็เป็นหนึ่งในสินค้าออกของประเทศไทยมาหลายสิบปี โดยในแต่ละปีไทยส่งออกข้าวพาร์บอยล์คุณภาพดีไปยังต่างประเทศประมาณ 7 แสน ถึง 1 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาท มีส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 30 ในตลาดโลก ประเทศที่สั่งซื้อข้าวพาร์บอยล์จากไทยได้แก่ประเทศในแถบแอฟริกาและตะวันออกกลาง เช่น โมซัมบิก แคเมอรูน โซมาเลีย ไนจีเรีย ซาอุดิอาระเบีย เยเมน โอมาน คูเวต บาห์เรน อิสราเอล และเลบานอน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีประเทศในแถบยุโรป เช่น อิตาลี เยอรมนี และฝรั่งเศส และบางประเทศในแถบเอเชีย เช่น บังคลาเทศ และศรีลังกา เป็นต้น โดยข้าวพาร์บอยล์คุณภาพดีของไทยยังมีโอกาสพัฒนาได้อีกมาก เพราะต้นทุนข้าวเปลือกไทยราคาถูกกว่าประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นคู่แข่งที่สำคัญ ดังนั้นข้าวพาร์บอยล์จึงนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่ควรได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างยิ่ง (กรมวิชาการเกษตร, 2549)

การส่งออกข้าวพาร์บอยล์มีอัตราการเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณามูลค่าและสัดส่วนตลาดส่งออกข้าวพาร์บอยล์ใน 20 ประเทศ ปี พ.ศ. 2544 ถึง 2546 พบว่าตลาดส่งออกที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำคัญ คือ ไนจีเรีย ซึ่งเป็นประเทศที่นำเข้าข้าวพาร์บอยล์ของไทยสูงมากคือ ร้อยละ 35 โดยประมาณของมูลค่าข้าวพาร์บอยล์ที่ไทยส่งออกทั้งหมด รองลงมาคือ แอฟริกาใต้ เยเมน และเบนิน ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตคือในปี พ.ศ. 2544 มูลค่าของการส่งออกข้าวพาร์บอยล์ในประเทศไนจีเรียและเซเนกัลสูงมาก แต่ในปีถัดมามูลค่าการส่งออกดังกล่าวลดลง ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าการแข่งขันในตลาดข้าวพาร์บอยล์ยังต่ำอยู่ในช่วงแรก ซึ่งไทยมีคู่แข่งขันที่สำคัญเพียงรายเดียวคืออินเดีย แต่ในระยะหลังตลาดค้าขายได้มีคู่แข่งเพิ่มมากขึ้น ทำให้ส่วนแบ่งในตลาดสำคัญ ๆ ลดลง สำหรับมูลค่าและสัดส่วนตลาดส่งออกข้าวพาร์บอยล์ใน 20 ประเทศ ในปี พ.ศ. 2547 ถึง 2549 พบว่าไนจีเรียยังเป็นตลาดส่งออกที่สำคัญ แต่ปริมาณและมูลค่าการส่งออกในระยะดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามได้มีเบนินเข้ามาเป็นตลาดส่งออกที่สำคัญทดแทน โดยมีมูลค่าและสัดส่วนของตลาดที่เพิ่มขึ้นและสูงกว่าตลาดส่งออกในไนจีเรีย สำหรับตลาดส่งออกที่สำคัญรองลงมาได้แก่ ตลาดในแอฟริกาใต้และเยเมน จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการที่มีคู่แข่งในตลาดค้าข้าวพาร์บอยล์เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเติบโตในการส่งออกข้าวพาร์บอยล์ในตลาดใหญ่ ๆ มีแนวโน้มลดลง แต่ในขณะเดียวกันตลาดข้าวพาร์บอยล์ก็ยังขยายตัวเพิ่มขึ้นโดยสังเกตได้จากคู่ค้าของไทย เช่น แอฟริกาใต้ รัสเซีย และแคเมอรูน ที่เพิ่มปริมาณการนำเข้าข้าวพาร์บอยล์มากขึ้นในระยะหลัง หากมีความพยายามในการพัฒนาและปรับปรุงทั้งในส่วนของการผลิตและคุณภาพต่อไป จะส่งผลให้ตลาดส่งออกข้าวพาร์บอยล์ยังคงมีโอกาสและมีอัตราการเติบโตที่เพิ่มขึ้นต่อไป (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กระทรวงพาณิชย์, 2549)

สำหรับปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยส่งออกข้าวพาร์บอยล์คุณภาพดี (ข้าวพาร์บอยล์ 100%) ปริมาณ 1.6 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 2 พันล้านบาท และล่าสุดในปี พ.ศ. 2550 (เดือนมกราคม ถึง ตุลาคม) ประเทศไทยส่งออกข้าวพาร์บอยล์คุณภาพดีปริมาณ 1.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 3 พันล้านบาท (Thai Rice Exporters Association, 2007)

เทคโนโลยีกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Impregnation; VI)

เทคโนโลยีกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพซึ่งได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้ โดยการประยุกต์ใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับระบบการแช่ มีผลทำให้สารละลายจากภายนอกซึมเข้าไปแทนที่น้ำหรืออากาศในรูพรุนของโครงสร้างเนื้อของพืชและสัตว์ได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ระบบสุญญากาศจะไปเพิ่มประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนมวลสารและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบางอย่างของสารอาหาร เทคนิคนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นก่อนที่จะทำการแปรรูปต่อไป เช่น การทอด การอบแห้ง การแช่เยือกแข็ง และการผลิตอาหารกระป๋อง ทั้งเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปดัดแปลงสูตรและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวน่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์เพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวให้สูงขึ้นได้ (Matusek *et al.*, 2008 และ Zhao and Xie, 2004)

หน้าที่หลักของเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ สามารถแบ่งได้ 2 ประเด็น ดังนี้

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ โดยปรับปรุงรูพรุนในโครงสร้างของอาหารให้ดีขึ้น ส่วนใหญ่นิยมใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยอุณหภูมิต่ำหรือความร้อนซึ่งจะมีผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อของพืช นอกจากนี้เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศยังช่วยในเรื่องของการรักษาสี กลิ่น และรสของผลิตภัณฑ์และช่วยป้องกันการสูญเสียคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อน เช่น การใช้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมร่วมกับระบบกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศจะช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นในผลไม้สดได้ และยังพบว่าเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศมีผลในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นผลไม้จากเอนไซม์และการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศยังช่วยให้สารอาหารอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารที่ช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์สามารถซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างของสารอาหารซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้นและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Gras *et al.*, 2002 และ Chiralt *et al.*, 2001)

2. ช่วยประหยัดพลังงาน โดยลดพลังงานและเวลาในการผลิต ซึ่งจากรายงานของ Zhao and Xie (2004) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซและของเหลว (Gas–Liquid exchange processes) สำหรับเทคนิคต่าง ๆ คือ เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Impregnation) เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชัน (Osmotic dehydration) และเทคนิคการเชื่อมและการดองเค็ม (Candying and Salting) โดยมีผลลัพธ์ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างหลังผ่านแต่ละเทคนิคให้เหมือนกัน พบว่า เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศจะให้ผลดีที่สุด คือ ใช้เวลาที่ต่ำกว่าโดยเวลาที่ใช้ไปจะมีหน่วยวัดเป็นนาที ในขณะที่เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชัน และ เทคนิคการเชื่อมและการดองเค็มจะมีหน่วยวัดเป็นชั่วโมง และ วันหรือสัปดาห์ ตามลำดับ และเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศมีอัตราการสูญเสียน้ำ (Water loss rate) สูงที่สุดด้วย จากการที่เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศใช้หน่วยเวลาเป็นนาที ส่งผลให้ประหยัดพลังงานและใช้เวลาในการผลิตน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นข้างต้น

นอกจากนี้ Fito *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศต่อโครงสร้างอาหาร โดยเฉพาะการปลดปล่อยก๊าซออกจากรูพรุนภายในเนื้อเยื่ออาหารและการแทนที่ช่องว่างในรูพรุนดังกล่าวด้วยของเหลวจากภายนอก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางกายภาพของสารเคมีและคุณสมบัติบางอย่างของโครงสร้างอาหารในขั้นตอนของการอบแห้งและกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่า การควบคุมระยะเวลาในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จะทำให้การแลกเปลี่ยนมวลสารของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ซึ่งน่าจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตของผลไม้แช่อิ่มเพิ่มมากขึ้น

Gras *et al.* (2003) ทำการศึกษาผลของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศต่อโครงสร้างอาหารโดยเฉพาะการปลดปล่อยก๊าซออกจากรูพรุนภายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยมีการศึกษาถึงผลของแคลเซียมต่อเนื้อเยื่อของผัก และผลของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศต่อกลไกต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งผักที่นำมาทำการทดลอง คือ มะเขือเปราะ เห็ดนางรม และแครอท สารละลายที่ใช้ในการแช่ประกอบด้วยซูโครสร่วมกับแคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate) และใช้สารละลายซูโครสเป็นตัวอย่างควบคุม โดยใช้ความดันที่ระดับ 50 มิลลิบาร์เป็นเวลานาน 10 นาที จากนั้นปรับความดันไว้ที่ระดับความดันบรรยากาศนาน 10 นาที จากการวิเคราะห์ผลของการดูดซึมสารละลายและการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง พบว่า แคลเซียมมีผลต่อการดูดซึมสารละลายเพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อกลไกภายในเนื้อเยื่อของมะเขือเปราะและแครอท นอกจากนี้แคลเซียมไม่มีผลต่อเห็ดนางรมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการตรวจสอบถึงระดับการดูดซึมแคลเซียมของเนื้อเยื่อของผักโดยวิธี Electron Dispersive X-ray Microanalysis (EDXMA) พบว่าแคลเซียมถูกดูดซึมเข้าไปในช่องว่างภายในเซลล์ของมะเขือเปราะและเห็ดนางรม และสามารถเข้าไปภายในไซเลมของแครอท อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

Mujica-Paz *et al.* (2003) ทำการศึกษาถึงผลของความดันและเวลาที่มีต่อปริมาณการดูดซึมสารละลายของชิ้นผลไม้ ทั้ง 6 ชนิด ซึ่งได้แก่ มะม่วง แอปเปิล กล้วย ท้อ แตงเมลอน และ Mamey โดยวิธีการสร้างพื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ในรูปแบบของสมการยกกำลังสอง วิธีการทดลองจะเริ่มจากการนำชิ้นผลไม้แช่ในสารละลายซูโครส จากนั้นทำการผันแปรระดับของเวลาในการแช่ตั้งแต่ 3 ถึง 45 นาที และระดับของความดันที่ 135 ถึง 674 มิลลิบาร์ จากการทดลองพบว่าระดับความดันมีผลต่อปริมาณการดูดซึมสารละลายของชิ้นผลไม้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$) นอกจากนี้ผลของการดูดซึมยังขึ้นกับระยะเวลาของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$) เช่นกัน

Betoret *et al.* (2005) ได้ศึกษาถึงการแช่แอปเปิลในสารละลายที่มีส่วนผสมของแคลเซียมกลูโคเนตและไอร์ออนกลูโคเนต โดยผันแปรระดับปริมาณของแคลเซียมกลูโคเนตและไอร์ออนกลูโคเนตเท่ากับ 0 ถึง114.7 และ 0 ถึง 2.98 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยคิดเป็นปริมาณธาตุแคลเซียมและเหล็กเท่ากับ 0 ถึง 14.917 และ 0 ถึง 0.336 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และใช้เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในการแช่ตัวอย่างที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ จากการตรวจสอบโดยวิธี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Electron Dispersive X-ray Microanalysis (EDXMA) พบว่า แคลเซียมและเหล็กจะเคลื่อนที่จากสารละลายเข้าสู่เซลล์ของแอปเปิลในชั้นของ Intracellular space ซึ่งคิดเป็นปริมาณแคลเซียมและเหล็กในเนื้อแอปเปิลเท่ากับ 1.28 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อกรัมตัวอย่างและ 0.0287 มิลลิกรัมเหล็กต่อกรัมตัวอย่างตามลำดับ

Anino *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในการเสริมแคลเซียมในชิ้นแอปเปิล โดยศึกษาเปรียบเทียบกับกระบวนการแช่ที่ความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศจะใช้ความดัน 30 มิลลิเมตรปรอทในการแช่แอปเปิล และใช้เวลานาน 10 นาทีเท่ากันทั้งสองกระบวนการ ผลการทดลองพบว่ากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศสามารถช่วยให้แคลเซียมแทรกซึมเข้าไปในเนื้อแอปเปิลได้ดีกว่ากระบวนการแช่ที่ความดันบรรยากาศในเวลาที่เท่ากัน โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 30 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับผู้ใหญ่ (Adequate intake)

สำหรับงานวิจัยที่ได้นำกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศมาใช้กับตัวอย่างประเภทอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กลุ่มผักและผลไม้ เช่น การศึกษาของ Hofmeister *et al.* (2005) ซึ่งทำการศึกษากระบวนการผลิต Minas cheese (เป็นเนยแข็งชนิดหนึ่งของประเทศบราซิล) โดยประยุกต์ใช้ระบบกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในขั้นตอนของการแช่สารละลายเกลือ หลังจากนั้น Minas cheese จะถูกนำมาประเมินความเข้มข้นของเกลือโดยวิธีการผสมสีย้อม (Dye) ในสารละลายเกลือและลักษณะทางกายภาพโดยการถ่ายภาพของเนื้อเนยแข็ง จากผลการศึกษาพบว่าสารละลายเกลือสามารถ แทรกซึมและรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับ Minas cheese ได้ดีกว่ากระบวนการผลิตแบบเดิม และเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพพบว่า โครงสร้างของ Minas cheese จะมีความสม่ำเสมอ เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น อีกทั้งรูพรุนภายในเนื้อ Minas cheese ก็มีขนาดลดลงซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีขึ้นกว่าเนยแข็งปกติ

ความสำคัญของสารอาหารที่ทำการเสริมในข้าวเหนียวพาร์บอยล์

แร่ธาตุ (Minerals)

แร่ธาตุเป็นสารอาหารที่จำเป็นกลุ่มหนึ่งในอาหาร และเป็นส่วนประกอบของร่างกายมนุษย์ที่ขาดไม่ได้ ถึงแม้แร่ธาตุจะไม่ให้พลังงานแก่ร่างกายและร่างกายต้องการในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับสารอาหารอื่น แต่ถ้าได้รับแร่ธาตุในปริมาณที่ไม่เพียงพอก็อาจก่อให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บได้ อาหารทุกชนิดมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งผันแปรไปตามชนิดของอาหาร มีทั้งอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ สารประกอบอนินทรีย์ หรือรวมตัวอยู่กับสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น ฟอสฟอรัสรวมตัวอยู่ในโมเลกุลโปรตีนเป็นฟอสโฟโปรตีน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในร่างกายมนุษย์มีแร่ธาตุอยู่มากกว่า 60 ชนิด แต่แร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อโภชนาการมีประมาณ 17 ชนิด โดยปริมาณแร่ธาตุในร่างกายคิดเป็นร้อยละ 5 ของน้ำหนักตัว ในจำนวนนี้กว่าร้อยละ 50 เป็นแคลเซียม และร้อยละ 25 เป็นฟอสฟอรัส ส่วนที่เหลือเป็นแร่ธาตุอื่น ๆ ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์แร่ธาตุต่าง ๆ ได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ถึงแม้ว่าแร่ธาตุในร่างกายจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับส่วนประกอบอย่างอื่นแต่ก็นับว่ามีความสำคัญมาก ร่างกายจะขาดแร่ธาตุไม่ได้ เนื้อเยื่อและของเหลวภายในร่างกายทั้งหมดประกอบไปด้วยแร่ธาตุในปริมาณที่แตกต่างกัน ในวันหนึ่ง ๆ ร่างกายขับถ่ายแร่ธาตุทางอุจจาระ ปัสสาวะ และเหงื่อประมาณ 20 ถึง 30 กรัม ในรูปของเกลือต่าง ๆ เช่น เกลือของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ฉะนั้นอย่างน้อยที่สุดปริมาณที่ร่างกายควรได้รับต่อวันควรจะมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณที่สูญเสียไป (วีนัส และคณะ, 2545)

แร่ธาตุในร่างกายแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แร่ธาตุที่มีมากในร่างกาย (Macrominerals หรือ Main elements) หมายถึง แร่ธาตุที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อร่างกายในปริมาณมาก และร่างกายต้องการในปริมาณมากกว่าวันละ 100 มิลลิกรัม ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม คลอรีน แมกนีเซียมและกำมะถัน

2. แร่ธาตุที่ร่างกายต้องการจำนวนน้อย (Microminerals หรือ Trace elements) หมายถึง แร่ธาตุที่มีอยู่ในร่างกายในปริมาณเพียงเล็กน้อย และร่างกายต้องการในปริมาณน้อยกว่าวันละ 100 มิลลิกรัม แต่มีความจำเป็นสำหรับการทำงานของร่างกาย เช่น เหล็ก ไอโอดีน ฟลูออรีน ซีลีเนียม ทองแดง โคบอลต์ แมงกานีส โมลิบดินัม โครเมียม สังกะสี โดยแร่ธาตุในกลุ่มนี้ยังสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีก 3 กลุ่ม คือ

2.1 แร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายและรู้หน้าที่ภายในร่างกาย ได้แก่ เหล็ก ไอโอดีน ฟลูออรีน ซีลีเนียม ทองแดง โคบอลต์ แมงกานีส โมลิบดินัม โครเมียม สังกะสี ถ้าร่างกายขาดแร่ธาตุในกลุ่มนี้จะแสดงอาการขาดให้เห็นอย่างชัดเจน

2.2 แร่ธาตุที่อาจมีความจำเป็นต่อร่างกาย แต่ยังไม่รู้หน้าที่ในร่างกายอย่างแน่ชัดมากนัก เช่น นิเกิล ดีบุก ซิลิคอน และวานาเดียม

2.3 แร่ธาตุที่ไม่มีความจำเป็นต่อร่างกาย แร่ธาตุเหล่านี้อาจเข้าสู่ร่างกายโดยปะปนอยู่ในอาหารและน้ำดื่ม บางตัวเมื่อเข้าไปในร่างกายแล้วก่อให้เกิดพิษและเป็นอันตรายต่อร่างกาย เช่น แคดเมียม สารหนู ปรอท ตะกั่ว เป็นต้น (สิริพันธุ์, 2545)

ปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดในอาหาร ใช้ชี้บ่งด้วยค่าร้อยละของเถ้าในอาหารนั้น ๆ ถ้าอาหารใดมีค่าปริมาณเถ้าสูง แสดงว่าอาหารชนิดนั้นมีแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบอยู่มาก และแร่ธาตุส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการหุงต้มหรือถูกความร้อน แต่มักละลายออกมาในน้ำที่ใช้หุงต้ม (นิธิยา, 2545 และเสาวนีย์, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหล็ก (Iron)

ในร่างกายคนปกติมีธาตุเหล็กประมาณ 3 ถึง 5 กรัม ขึ้นอยู่กับ อายุ เพศ ขนาด ภาวะทางโภชนาการ สุขภาพ ประมาณร้อยละ 70 ของธาตุเหล็กทั้งหมดอยู่ในเลือด คือในเม็ดเลือดแดง โดยเป็นส่วนประกอบของเฮโมโกลบิน (Hemoglobin) ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนไปใช้ในการหายใจของเซลล์ ร้อยละ 26 จะเก็บอยู่ที่ตับ ม้าม ไขกระดูก ในรูปของเฟอร์ริทิน (Feritin) หรือ เฮโมซิเดอริน (Hemosiderin) สำหรับสร้างเม็ดเลือดแดงในยามที่ร่างกายต้องการใช้ ร้อยละ 3 อยู่ในกล้ามเนื้อในรูปองค์ประกอบที่เรียกว่า ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ส่วนธาตุเหล็กที่เหลือจะอยู่ในน้ำย่อยหรือเอนไซม์หลายชนิดที่มีอยู่ในเซลล์ นอกจากนี้ยังพบธาตุเหล็กในน้ำเลือด (Plasma) ในรูปของทรานส์เฟอร์ริน (Transferrin) ซึ่งเป็นเหล็กในสภาพขนส่งโดยจะส่งเหล็กจากเนื้อเยื่อหนึ่งไปยังอีกเนื้อเยื่อหนึ่ง ร่างกายสามารถเก็บธาตุเหล็กไว้ได้ โดยประมาณร้อยละ 90 ของเหล็กจะถูกนำกลับมาใช้ได้อีก (วีนัส และคณะ, 2545, สิริพันธุ์, 2545 และ เสาวนีย์, 2544)

หน้าที่ของเหล็ก

1. เป็นส่วนประกอบสำคัญของเฮโมโกลบินซึ่งเป็นสารที่ให้สีของในเม็ดเลือดแดง และรงควัตถุในกล้ามเนื้อ หรือ ไมโอโกลบิน โดยเฮโมโกลบินนั้นจะทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และกำจัดของเสียในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ออกทางปอด

2. เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจนหรือกระบวนการหายใจในร่างกาย รวมถึงเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในกระบวนการสร้างพลังงาน ATP ในไมโตคอนเดรีย

3. เป็นส่วนประกอบของโปรตีนและน้ำย่อยหลายอย่าง โปรตีนที่มีธาตุเหล็ก เช่น เฮโมโกลบิน ไมโอโกลบิน เฟอร์ริทิน เฮโมซิเดอริน ทรานส์เฟอริน น้ำย่อยที่มีธาตุเหล็ก เช่น คะทาเลส (Catalase) รีดักเทส (Reductase) ซึ่งสารดังกล่าวมีผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์

แหล่งอาหารที่มีเหล็ก

อาหารที่มีธาตุเหล็กมากได้แก่ ตับทุกชนิด เครื่องในสัตว์ เนื้อสัตว์ ไข่แดง ผักใบเขียว เลือด ถั่วเหลือง พริกแห้ง

นอกจากร่างกายจะได้รับธาตุเหล็กจากภายนอก (Exogenous source) คือได้รับจากอาหารแล้ว ยังได้รับจากภายในร่างกายเองอีกด้วย (Endogenous source) ซึ่งได้จากการสลายของเม็ดเลือด และจากการสลายออกมาจากแหล่งที่เก็บ เช่น ตับ ม้าม และไขกระดูก

สำหรับปริมาณธาตุเหล็กที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนในวัยต่าง ๆ นั้นสามารถดูได้จากตารางแสดงปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย หรือ Dietary Reference Intake for Thais (Thai DRI) ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการได้รับเหล็กในปริมาณที่ไม่เพียงพอ

การขาดธาตุเหล็กยังคงเป็นปัญหาขาดสารอาหารที่พบได้มาก และยังคงเป็นปัญหาทางสาธารณสุขของประเทศไทย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคโลหิตจาง (Anemia) ที่พบได้บ่อยในเด็กหญิงและหญิงตั้งครรภ์ โดยกลุ่มเสี่ยงต่อการเกิดโรคโลหิตจาง ได้แก่ เด็กอายุต่ำกว่า 2 ปี หญิงระหว่างวัยรุ่น และหญิงที่อยู่ในระหว่างตั้งครรภ์ การขาดธาตุเหล็กเพียงเล็กน้อยแม้จะยังไม่ถึงขั้นโลหิตจางก็ก่อให้เกิดผลเสีย เช่น ประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานของร่างกายลดลงในวัยหนุ่มสาว การเจริญเติบโตลดลงในเด็ก ภูมิคุ้มกันโรคต่ำ และบั่นทอนศักยภาพในการเรียนรู้ทั้งเด็กและผู้ใหญ่

ในกรณีที่ขาดธาตุเหล็กจนปรากฏอาการโลหิตจางเรื้อรัง จะมีอาการเหน็ดเหนื่อยอ่อนเพลียง่าย ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร บ้างกินมากเป็นพัก ๆ จุกเสียดยอดอก ใจสั่น หายใจอึดอัด ลำบาก เยื่อบุนัยน์ตาจะซีดขาว เล็บซีด ลิ้นซีด บวมตามข้อ เท้าและมือชา รู้สึกเสียวตามมือตามเท้า บางรายอาจมีอาการแสบปากแสบลิ้น มุมปากเปื่อย หรือกลืนอาหารลำบาก ในผู้หญิงจะมีอาการผิดปกติของประจำเดือน โดยประจำเดือนมาไม่ตรงกำหนดหรือมีจำนวนน้อย หรือบางคนอาจขาดไปเลย เมื่อมีการขาดธาตุเหล็กไปมาก ๆ เลือดจะจางมากขึ้น เกิดอาการเล็บแบนและงอนขึ้น มีอาการซีดมากขึ้นเนื่องจากเม็ดเลือดแดงมีสีซีดกว่าปกติและมีขนาดเล็กลง (Hypochromic microcytic anemia) นอกจากนี้จะมีอาการอ่อนเพลีย ซึม ผิวหนังเหี่ยวย่น ผิวซีดและเหลือง ผมแห้ง แตกปลายและร่วงมาก เล็บด้วนและย่น หัวใจโต ความคิดอ่าน สติปัญญาแย่ลง มีอาการบวมทั้งตัว

ในการรักษาโรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็กนี้ ขึ้นอยู่กับสาเหตุของการขาดธาตุเหล็กและรักษาที่ต้นเหตุเป็นสำคัญ เช่น สาเหตุเกิดจากโรคพยาธิปากขอ แผลในกระเพาะอาหาร ต้องทำการรักษาอาการเหล่านี้ให้หายเสียก่อน นอกจากนี้การขาดธาตุเหล็กยังพบได้จากหลายสาเหตุ เช่น การสูญเสียเลือดเป็นระยะเวลานาน การดูดซึมเหล็กของร่างกายไม่เพียงพอ หรือการที่ร่างกายไม่สามารถนำเหล็กที่ถูกดูดซึมแล้วไปใช้งานได้

ผลเสียต่อร่างกายที่ขาดธาตุเหล็ก

การขาดธาตุเหล็ก นอกจากจะทำให้เกิดภาวะโลหิตจางแล้ว ยังส่งผลต่อร่างกาย เช่น

1. ในหญิงตั้งครรภ์ พบว่า การขาดธาตุเหล็กทำให้เพิ่มอัตราการเสียชีวิตของมารดา การเสียชีวิตของทารกก่อนคลอด ทำให้ทารกคลอดก่อนกำหนด ทารกหลังคลอดจะมีการสะสมของธาตุเหล็กต่ำ เพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตและการเจ็บป่วยได้ง่าย

2. ประสิทธิภาพการเรียนรู้จะต่ำในเด็กที่ขาดธาตุเหล็ก มีอาการซึม ไม่กระตือรือร้น

3. ภูมิต้านทานของร่างกายลดต่ำลง คนที่ขาดธาตุเหล็กจะมีการติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจง่ายขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. มีความต้านทานต่ออากาศหนาวน้อยลง ทำให้หนาวสั่นได้ง่าย

5. กล้ามเนื้อทำงานไม่ปกติ เนื่องจากธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์อัลฟากลีเซอรอลฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส (α–glycerol phosphate dehydrogenase) เมื่อขาดธาตุเหล็กจะทำให้เอนไซม์นี้ลดลง เกิดสภาวะความเป็นกรดในกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

ผลของการได้รับเหล็กในปริมาณที่มากเกินไป

การที่ร่างกายมีการสะสมเหล็กในปริมาณที่มากเกินไป อาจเกิดจากความผิดปกติบางอย่างในร่างกาย เช่น เป็นโรคทางพันธุกรรม (Hereditary hemochromatosis) หรือได้รับการถ่ายเลือดมากเกินไป (Transfusion overload) เป็นระยะเวลานาน ผู้ที่ป่วยเป็นโรคเลือด เช่น ธาลัสซีเมีย (Thalassemia) เหล็กจะถูกเก็บสะสมไว้ในรูปเฮโมซิเดอริน เป็นผลึกที่ละลายได้ยาก ถ้ามีการเก็บสะสมมากเกินไปจะทำให้เกิดภาวะ เฮโมซิเดอโรซีส (Hemosiderosis) โดยจะมีการเกาะของเหล็กแต่ละแห่งมาก โดยเฉพาะในตับและม้าม ทำให้เกิดอาการตับแข็ง (Cirrhosis) และอาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ

สำหรับคนปกติที่ไม่มีภาวะผิดปกติเกี่ยวกับการดูดซึมเหล็ก พบว่า ยังไม่มีรายงานถึงผลเสียของการบริโภคอาหารที่มีเหล็กมากเกินไป แต่ถ้าได้รับธาตุเหล็กอันเนื่องมาจากการทานยาเสริมธาตุเหล็กเกินขนาด โดยในเด็กหากทานในปริมาณ 3 กรัม ในครั้งเดียว ส่วนในผู้ใหญ่หากรับประทานในปริมาณที่มากกว่า 13 กรัม ก็อาจทำให้เสียชีวิตได้ (กองบรรณาธิการ สำนักพิมพ์ใกล้หมอ, 2547, วีนัส และคณะ, 2545, สิริพันธุ์, 2545 และ เสาวนีย์, 2544)

แคลเซียม (Calcium)

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากในร่างกายประมาณร้อยละ 1.5 ถึง 2 ของน้ำหนักตัว หรือร้อยละ 39 ของปริมาณแร่ธาตุที่มีทั้งหมดในร่างกาย แคลเซียมในร่างกายประมาณร้อยละ 99 พบในกระดูกและฟัน ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ในเนื้อเยื่อและของเหลวในร่างกาย โดยอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในกระดูกเท่ากับ 2 ต่อ 1 และเพื่อให้การทำงานของแคลเซียมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แคลเซียมจะต้องทำงานควบคู่กับฟอสฟอรัส แมกนีเซียม วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินดี แคลเซียมนั้นจัดว่าเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญ เพราะเป็นส่วนประกอบของกระดูกซึ่งเป็นโครงสร้างของร่างกาย การรับประทานแคลเซียมไม่เพียงพอจะส่งผลทำให้กระดูกไม่แข็งแรง เปราะและหักง่าย (วีนัส และคณะ, 2545, สิริพันธุ์, 2545 และ เสาวนีย์, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้าที่ของแคลเซียม

1. เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน โดยในเถ้าถ่านกระดูกจะมีแคลเซียมถึงร้อยละ 50 เป็นแคลเซียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 80 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 12 และอีกร้อยละ 3 อยู่ในสภาพของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในร่างกายคนจะมีการปรับสมดุลแคลเซียมระหว่างเลือดและกระดูกอยู่ตลอดเวลา ในช่วงระยะที่เป็นเด็กร่างกายกำลังเจริญเติบโต ร่างกายจะมีการสร้างกระดูกโดยดึงแคลเซียมจากเลือดเข้าไปที่กระดูก (Bone formation) มากกว่าที่จะสลายออกมา (Bone resorption) แต่เมื่ออายุมากขึ้น การสลายแคลเซียมออกมาจากกระดูกมีมากกว่าการดึงแคลเซียมเข้าไป จึงเป็นสาเหตุทำให้กระดูกมีรูพรุน เปราะและหักง่าย ถ้าไม่มีการรักษาสมดุลของแคลเซียมในเลือดไว้ซึ่งทำได้โดยการรับประทานอาหารที่มีแคลเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย

2. เป็นสารจำเป็นสำหรับการสร้างกระดูกและฟัน หรือทำให้กระดูกและฟันแข็งแรง กระบวนการสร้างกระดูกและฟันนี้ต้องอาศัยฟอสฟอรัสและวิตามินดีร่วมด้วย

3. แคลเซียมในเลือดจำเป็นสำหรับการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ในกรณีที่แคลเซียมในเลือดมีปริมาณน้อย จะทำให้กล้ามเนื้อไวต่อการกระตุก (Hyperexcitability) และทำให้เกิดอาการชักเกร็ง แต่ถ้ามีปริมาณแคลเซียมมากเกินระดับปกติจะทำให้กดการทำงานของกล้ามเนื้อประสาทจะทำงานช้าลง (Hypoexcitability) นอกจากนี้แคลเซียมยังช่วยควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจให้เป็นไปตามปกติ

4. ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งหรือยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยและเอนไซม์หลายชนิด

5. ช่วยในการย่อยโปรตีนในน้ำนม (Casein)

6. จำเป็นต่อการแข็งตัวของเลือด ช่วยป้องกันไม่ให้ร่างกายสูญเสียเลือดมากเวลามีบาดแผล

7. ควบคุมความสมดุลของกรดและด่างในร่างกาย และควบคุมการเคลื่อนไหวของธาตุอื่น ๆ ที่ผ่านเข้าออกเซลล์

8. ช่วยในการดูดซึมวิตามินบี 12 ที่ลำไส้เล็กตอนปลาย

แหล่งอาหารที่มีแคลเซียม

อาหารที่มีแคลเซียมมากได้แก่ น้ำนม ผลิตภัณฑ์จากน้ำนม เช่น เนยแข็ง เนยเหลว และไอศกรีม ปลาเล็กปลาน้อยที่สามารถกินได้ทั้งกระดูก เช่น ปลากระป๋อง ปลาป่น ปลากรอบ กุ้งแห้ง ผักใบเขียว เช่น คะน้า กะหล่ำ บรอคเคอรี่ นอกจากนี้ยังพบใน ปู หอย ไข่แดง งา ถั่วเหลือง เป็นต้น

สำหรับปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนในวัยต่าง ๆ นั้นสามารถดูได้จากตารางแสดงปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย หรือ Dietary Reference Intake for Thai (Thais DRI) ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการได้รับแคลเซียมในปริมาณที่ไม่เพียงพอ

ในภาวะที่ร่างกายได้รับแคลเซียมจากอาหารลดลงเพียงเล็กน้อย พาราธัยรอยด์ฮอร์โมนจะส่งสัญญาณให้ไตสกัดกั้นแคลเซียมที่จะขับออกทางปัสสาวะเอาไว้ ในขณะเดียวกันจะปล่อยวิตามินดีที่สะสมในตับออกมาใช้ ถ้าร่างกายยังคงได้รับแคลเซียมจากอาหารน้อยมาก วิตามินดีจะไปยืมเอาแคลเซียมจากกระดูกมาใช้เพื่อให้การทำงานของกล้ามเนื้อและประสาทเป็นไปอย่างปกติ ซึ่งจะทำให้มีอาการต่าง ๆ ตามมา คือ

1. การผิดปกติของกระดูก (Bone deformities) ได้แก่ โรคกระดูกพรุน (Osteoporosis) โรคกระดูกอ่อนในเด็ก (Rickets) และโรคกระดูกอ่อนในผู้ใหญ่ (Osteomalacia หรือ Adult rickets)

โรคกระดูกพรุน เป็นความผิดปกติที่เกิดจากการที่มีมวลของเนื้อกระดูกลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบอื่นของกระดูก ทำให้ความแข็งแกร่งของกระดูกลดลง กระดูกจะพรุนและหักได้ง่ายแม้ได้รับแรงกระแทกเพียงเล็กน้อยและยากที่จะประสานได้

โรคกระดูกอ่อนในเด็ก เกิดจากการฟอร์มตัวที่ผิดไปของกระดูก กระดูกจะไม่แข็งแรงและอ่อนทำให้มีรูปร่างและลักษณะแตกต่างออกไปจากปกติ โดยมีอาการขางอโค้ง ข้อมือและเท้าใหญ่ หน้าอกยื่น กระดูกอกกลวง ส่วนโรคกระดูกอ่อนในผู้ใหญ่ มักมีความสัมพันธ์กับการขาดวิตามินดีและความไม่สมดุลของแคลเซียมกับฟอสฟอรัสที่บริโภค การสะสมของเกลือแร่ต่าง ๆ ในกระดูกลดลง ทำให้โครงร่างผิดไปและร้าวง่าย โดยมักเกิดกับผู้หญิงที่ไม่ค่อยได้รับแสงแดด คนที่ตั้งครรภ์ในระยะใกล้ ๆ กัน และคนที่ให้นมบุตรเป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ยังพบอาการฟันผุร่วมด้วย

2. ตะคริว (Tetany) เมื่อระดับของแคลเซียมในเลือดลดลง ทำให้เส้นใยประสาทมีความไวต่อการกระตุ้น ทำให้มีการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ เช่น อาการตะคริวที่เกิดที่กล้ามเนื้อน่อง ซึ่งมักเกิดในผู้หญิงระหว่างตั้งครรภ์ที่ได้รับแคลเซียมน้อยเกินไปหรือได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไป อาการตะคริวนี้อาจเกิดได้ในทารกแรกเกิดที่ได้รับการเลี้ยงด้วยนมวัวซึ่งมีสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสต่ำ

3. ความดันสูง (Hypertension) จากหลักฐานการศึกษาต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าการบริโภคแคลเซียมในปริมาณที่ต่ำเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความดันโลหิตสูงได้

ผลของการได้รับแคลเซียมในปริมาณที่มากเกินไป

การรับประทานแคลเซียมมากเกินไปจะทำให้ระดับแคลเซียมในเลือดสูง (Hypercalcemia) ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน ความดันเลือดสูง ปัสสาวะน้อย มีการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อและอาจเกิดนิ่วในไต ซึ่งเป็นผลจากการสะสมของแคลเซียม (Calcification) ที่ไตมากเกินไป หากร่างกายได้รับแคลเซียมมากกว่าวันละ 4,000 มิลลิกรัม อาจทำให้ไตเสียหายได้ (กองบรรณาธิการสำนักพิมพ์ใกล้หมอ, 2547, วีนัส และคณะ, 2545, สิริพันธุ์, 2545 และ เสาวนีย์, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอโอดีน (Iodine)

ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย ในร่างกายมีไอโอดีนประมาณ 25 มิลลิกรัม หรือประมาณร้อยละ 0.0004 ของน้ำหนักตัว มากกว่าร้อยละของไอโอดีนในร่างกายโดยจะอยู่ที่ต่อมไทรอยด์ (Thyroid) ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ทั่วไปในร่างกาย ตามกล้ามเนื้อ ผิวหนัง ขุมขน ต่อมน้ำลาย ระบบทางเดินอาหาร และกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในต่อมน้ำนม ไอโอดีนที่รับประทานเข้าไปจะเปลี่ยนเป็นไอโอไดด์ (Iodide) เพื่อดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ทั้งในรูปของไอโอดีนอิสระและไอโอดีนที่จับตัวอยู่กับโปรตีน (Protein bound iodide) หลังจากนั้นไอโอดีนจะถูกเก็บไว้ที่ต่อมไทรอยด์เพื่อใช้ในการสร้างฮอร์โมนไทรอกซิน (Thyroxin) ต่อไป (วีนัส และคณะ, 2545, สิริพันธุ์, 2545 และ เสาวนีย์, 2544)

หน้าที่ของไอโอดีน

1. ช่วยในการทำงานและเจริญเติบโตของต่อมไทรอยด์ และเป็นส่วนประกอบสำคัญของฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์หรือฮอร์โมนไทรอกซินมีหน้าที่ควบคุมอัตราเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของร่างกาย การทำงานของต่อมไทรอยด์มีผลต่อสภาพจิตใจ สภาพของผม ผิวหนัง เล็บ และฟันของร่างกาย การเปลี่ยนของแคโรทีนเป็นวิตามินเอ การสังเคราะห์โปรตีนโดยไรโบโซม และการดูดซึมน้ำตาลจากลำไส้เล็ก ปฏิกิริยาทั้งหมดนี้จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อการผลิตฮอร์โมนไทรอกซินเป็นไปตามปกติ นอกจากนี้การสังเคราะห์คอเลสเทอรอลจะถูกกระตุ้นโดยระดับของฮอร์โมนไทรอกซินเช่นกัน

2. ช่วยให้ร่างกายผลิตพลังงานได้ตามปกติ

3. ช่วยส่งเสริมและควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกายและสมอง และกระตุ้นอัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย

4. กระตุ้นให้หัวใจทำงานได้ดีขึ้น

5. ช่วยเพิ่มการเคลื่อนย้ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสจากกระดูก

6. ช่วยในการขับถ่ายปัสสาวะและควบคุมการกระจายของน้ำตามอวัยวะต่าง ๆ

7. กระตุ้นให้มีการหลั่งน้ำนมมากขึ้น

8. ควบคุมระบบประสาทให้มีกำลังคล่องแคล่ว กระฉับกระเฉง ตลอดถึงการพูด ทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับความมีประสิทธิภาพการทำงานของต่อมไทรอยด์

แหล่งอาหารที่มีไอโอดีน

ไอโอดีนพบได้มากในอาหารทะเลทุกชนิด เช่น กุ้ง หอย ปลาทะเล เกลือที่ได้จากน้ำทะเลหรือเกลือสมุทร พืชทะเล เช่น สาหร่ายต่าง ๆ และพืชผักที่ปลูกบนพื้นดินที่มีไอโอดีนอุดมสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังพบไอโอดีนในลูกแพร์ ส้ม แอปเปิล ผักโขม กระจับ กระเทียม มันฝรั่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่อไม้ฝรั่ง มะเขือเทศ ไข่แดง และเนยแข็ง โดยเกลือที่ผ่านการเติมไอโอดีน (Iodized salt) ก็นับว่าเป็นแหล่งของไอโอดีนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง

จากการที่ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุที่พบได้น้อยมากในอาหาร ยกเว้นในอาหารทะเล จึงทำให้ประชาชนส่วนใหญ่ขาดธาตุไอโอดีนกันมาก ทางแก้ไขคือ การใช้เกลือที่ผ่านการเติมไอโอดีนหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เกลืออนามัย สำหรับบริเวณที่มีภาวการณ์ขาดไอโอดีนรุนแรง จะหยดสารละลายไอโอดีนลงในน้ำดื่มเพื่อแก้ปัญหาการขาดไอโอดีนของเด็กนักเรียนในโรงเรียน

สำหรับปริมาณไอโอดีนที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนในวัยต่าง ๆ นั้นสามารถดูได้จากตารางแสดงปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย หรือ Dietary Reference Intake for Thais (Thai DRI) ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

ผลของการได้รับไอโอดีนในปริมาณที่ไม่เพียงพอ

ในเด็กที่ขาดไอโอดีนจะเตี้ยแคระและสมองไม่เจริญเรียกว่า ครีตินนิซึม (Cretinism) ซึ่งเป็นโรคที่เป็นมาแต่กำเนิดเพราะมารดาบริโภคไอโอดีนจำกัดหรือน้อยในระยะตั้งครรภ์ ทั้งนี้เนื่องจากไอโอดีนเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการสร้างเซลล์สมองของเด็ก อาการนั้นสามารถแสดงออกหลายรูปแบบ เช่น เป็นใบ้ หูหนวก ตาเหล่ กล้ามเนื้อหย่อนยานและอ่อนแอ ผิวหนังแห้ง รูปร่างสั้นเตี้ย เนื่องจากการเจริญของกระดูกชะงัก นอกจากนี้การพัฒนาของจิตใจหยุดชะงักด้วย มีอาการเดินกระตุก หรือเกร็ง หรือความผิดปกติทางระบบสืบพันธุ์ ถ้าทำการแก้ไขในระยะแรกแก่ทารก การเจริญเติบโตของร่างกายก็จะดีขึ้น การพัฒนาทางจิตใจก็ดำเนินไปได้บ้าง แต่ว่าประสาทสมองส่วนกลางที่ถูกทำลายไปไม่สามารถทำกลับให้ดีอย่างเดิมได้ ส่งผลให้เกิดอาการปัญญาอ่อนได้

ในผู้ใหญ่ที่ขาดไอโอดีน ต่อมไทรอยด์จะโตขึ้นอย่างมากจนเห็นได้ชัดที่บริเวณคอ เรียกว่าโรคคอพอก (Simple goiter) ทั้งนี้เมื่อร่างกายได้รับไอโอดีนในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อมไทรอยด์สร้างฮอร์โมนไม่ได้ เซลล์ของต่อมไทรอยด์จะเพิ่มจำนวนและขยายตัวใหญ่ขึ้นเพื่อทำงานชดเชยกับการขาดไอโอดีน แต่จะไม่เป็นผลเนื่องจากขาดไอโอดีนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮอร์โมนไทรอกซิน ในคนที่ต่อมไทรอยด์มีขนาดใหญ่มาก ต่อมไทรอยด์จะไปกดหลอดลม ทำให้ไอ สำลัก หายใจลำบาก ถ้ากดหลอดอาหารจะกลืนอาหารลำบาก โรคคอพอกที่เกิดจากการขาดไอโอดีนมักปรากฏชัดในวัยหนุ่มสาวหรือหญิงมีครรภ์เพราะความต้องการของร่างกายมีมากในช่วงนี้ ซึ่งถ้าได้รับไอโอดีนไม่เพียงพอจะแสดงอาการออกมาได้

นอกจากนี้ การได้รับไอโอดีนที่ไม่เพียงพอยังทำให้เกิดภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ (Hypo thyroidism) ซึ่งเป็นภาวะที่ร่างกายมีไทรอยด์ฮอร์โมนไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ทำให้มีเมตาบอลิซึมช้าผิดปกติ หรือเรียกว่า มิกเซดีมา (Myxedema) จะมีผลทำให้ความคิดเฉื่อยชา ง่วงเหงาหาวนอน อ่อนเพลีย กินน้อยแต่น้ำหนักเพิ่ม ผิวแห้ง ผมร่วง อาการเหล่านี้จะค่อยเป็นค่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไปอย่างช้า ๆ และจะมีอาการเชื่องช้าทางด้านพัฒนาทางเชาว์ปัญญาอีกด้วย ถ้าพบในเด็กแรกเกิดจะมีอาการทั้งทางสมองและร่างกายโดยจะไม่เจริญและพัฒนาตามปกติ

ผลของการได้รับไอโอดีนในปริมาณที่มากเกินไป

การที่ร่างกายได้รับไอโอดีนมากเกินไปอาจทำให้ต่อมไทรอยด์บวมโตได้ อย่างไรก็ตามไอโอดีนที่เตรียมอยู่ในรูปของยา ต้องระวังในการบริโภคเพราะว่าถ้าได้รับในปริมาณมากเกินไป เช่น ในกรณีที่ใช้ยาเสริมแก่ร่างกายเป็นจำนวนมากในระยะฉับพลันอาจจะเป็นอันตรายได้ (กองบรรณาธิการ สำนักพิมพ์ใกล้หมอ, 2547, วีนัส และคณะ, 2545, สิริพันธุ์, 2545 และ เสาวนีย์, 2544)

กรดอะมิโน (Amino acids)

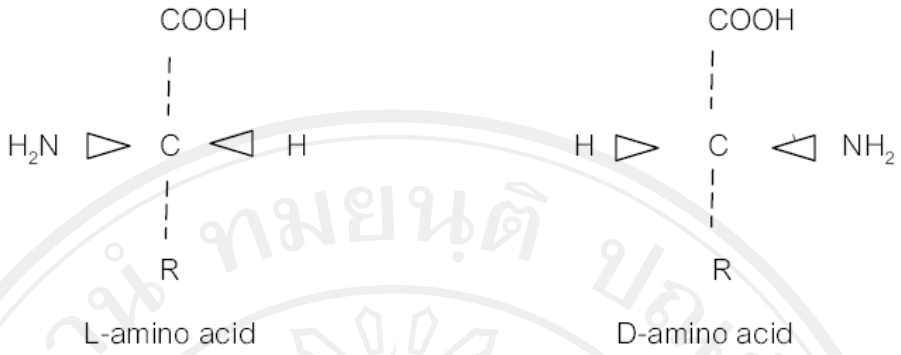
กรดอะมิโนเป็นสารประกอบอินทรีย์ และเป็นหน่วยย่อยที่สุดที่ประกอบกันขึ้นในโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งโปรตีนจัดได้ว่าเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมากที่สุด เนื่องจากในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดล้วนแต่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ในโมเลกุลของโปรตีนกรดอะมิโนจะเรียงตัวต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) ซึ่งอาจประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนหนึ่งชนิดหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างและชนิดของโปรตีนนั้น ๆ กรดอะมิโนประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจนเป็นหลัก อาจมีธาตุชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น กำมะถัน (Sulfur) ในอาหารทั่วไปจะพบกรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด โดยอาหารแต่ละชนิดจะมีปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารนั้น ๆ (นิธิยา, 2545, วีนัส และคณะ, 2545 และ รัชฎา, 2544)

โครงสร้างของกรดอะมิโนประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1. หมู่อะมิโน ($–NH_2$)
2. หมู่คาร์บอกซิล (–COOH)
3. หมู่สายแขนง (–R) หรือโซ่ข้าง (Side chain)

กรดอะมิโนมีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็นแบบ NH_2–CHR–COOH ซึ่งอะตอมคาร์บอนในตำแหน่งอัลฟา (α-carbon) ซึ่งเป็นคาร์บอนที่อยู่ถัดจากหมู่คาร์บอกซิลิกเป็นคาร์บอนที่ไม่สมมาตร (Asymmetric carbon atom) ดังนั้นกรดอะมิโนทุกตัว (ยกเว้นไกลซีน ซึ่งมีหมู่ R เป็นไฮโดรเจน) จะมีโครงสร้างไอโซเมอร์ที่เรียกว่า สเตอริโอไอโซเมอร์ (Stereo isomer) อยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดดี (D–) และชนิดแอล (L–) ดังภาพ 2.3 ซึ่งในธรรมชาติส่วนใหญ่จะพบกรดอะมิโนชนิดแอล (L–amino acid) มากกว่า (นัยนา, 2546 และ นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.3 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่าง L-amino acid และ D-amino acid

ที่มา: นัยนา (2546)

โดยทั่วไปจะพบกรดอะมิโนในอาหารประมาณ 20 ชนิด ดังตาราง 2.3 โครงสร้างของกรดอะมิโนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่หมู่ R จึงทำให้กรดอะมิโนมีสมบัติที่แตกต่างกัน ทั้งรูปร่าง ขนาด ขั้ว และประจุ ถ้าหมู่ R มีจำนวนคาร์บอนมากจะทำให้กรดอะมิโนมีขนาดใหญ่ และถ้าหมู่ R มีขั้วหรือประจุ จะแสดงคุณสมบัติการละลายน้ำได้

การจำแนกประเภทกรดอะมิโน

กรดอะมิโนสามารถจำแนกได้หลายประเภท ขึ้นกับปัจจัยที่นำมาจำแนก ดังนี้

1. จำแนกตามลักษณะโครงสร้างเคมีของโซ่ข้างหรือหมู่ R (รัชฎา, 2544 และ มุกดา และนิ่มนวล, 2527)

1.1 Aliphatic monoamino monocarboxylic acids คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ R เป็นเส้นตรง (Aliphatic) มีหมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิลอยู่ภายในโมเลกุลอย่างละ 1 หมู่ ได้แก่ ไกลซีน อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ทรีโอนีน และซีรีน

1.2 Aliphatic monoamino dicarboxylic acids คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ R เป็นเส้นตรง มีหมู่อะมิโน 1 หมู่ และมีหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่ ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก และกรดกลูตามิก

1.3 Aliphatic diamino monocarboxylic acids คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ R เป็นเส้นตรง มีหมู่อะมิโน 2 หมู่ และมีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ ได้แก่ ไลซีน และอาร์จินีน

1.4 Amino acids containing sulfur คือ กรดอะมิโนที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ซีสเตอีน และเมไธโอนีน

1.5 Aromatic amino acids คือ กรดอะมิโนที่มีโครงสร้างรูปวงแหวนเบนซีน (Benzene ring) อยู่ในโมเลกุล ได้แก่ ไทโรซีน และฟีนิลอะลานีน

1.6 Heterocyclic amino acids คือ กรดอะมิโนที่มีวงแหวนแบบเฮเทอโรไซคลิกอยู่ในโมเลกุล ได้แก่ ฮิสติดีน โปรลีน และทริปโตเฟน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 รายชื่อกรดอะมิโนบางชนิดที่มักพบในอาหาร

กรดอะมิโน (Amino acid)		ชื่อย่ออักษรสามตัว	ชื่อย่ออักษรหนึ่งตัว
อะลานีน	(Alanine)	Ala	A
อาร์จินีน	(Arginine)	Arg	R
แอสพาราจีน	(Asparagine)	Asn	N
กรดแอสปาร์ติก	(Aspartic acid)	Asp	D
ซิสเตอีน	(Cysteine)	Cys	C
กลูตามีน	(Glutamine)	Gln	Q
กรดกลูตามิก	(Glutamic acid)	Glu	E
ไกลซีน	(Glycine)	Gly	G
ฮิสติดีน	(Histidine)	His	H
ไอโซลิวซีน	(Isoleucine)	Ile	I
ลิวซีน	(Leucine)	Leu	L
ไลซีน	(Lysine)	Lys	K
เมไธโอนีน	(Methionine)	Met	M
ฟีนิลอะลานีน	(Phenylalanine)	Phe	F
โปรลีน	(Proline)	Pro	P
ซีรีน	(Serine)	Ser	S
ทรีโอนีน	(Threonine)	Thr	T
ทริปโตเฟน	(Tryptophan)	Trp	W
ไทโรซีน	(Tyrosine)	Tyr	Y
วาลีน	(Valine)	Val	V

ที่มา: นัยนา (2546) และ รัชฎา (2544)

2. จำแนกตามลักษณะการมีประจุและการมีขั้วของโซ่ข้างหรือหมู่ R (พรงาม, 2545 และ รัชฎา, 2544)

2.1 กรดอะมิโนที่โซ่ข้างหรือหมู่ R ไม่มีขั้ว (Nonpolar R group) กรดอะมิโนในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มไฮโดรโฟบิกหรือไม่ชอบน้ำ ได้แก่ อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน โปรลีน เมไธโอนีน ฟีนิลอะลานีน ไกลซีน และทริปโตเฟน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 กรดอะมิโนที่โซ่ข้างหรือหมู่ R มีขั้วแต่ไม่มีประจุ (Uncharged polar R group) ได้แก่ ซีรีน ทรีโอนีน แอสพาราจีน กลูตามีน ไทโรซีน และซีสเตอีน

2.3 กรดอะมิโนที่โซ่ข้างหรือหมู่ R มีประจุบวก (Positive charged R group) โดยกรดอะมิโนกลุ่มนี้จะแสดงประจุบวกที่ค่า pH 6.0 ถึง 7.0 ได้แก่ ไลซีน อาร์จีนีน และฮิสติดีน

2.4 กรดอะมิโนที่โซ่ข้างหรือหมู่ R มีประจุลบ (Negative charged R group) โดยกรดอะมิโนกลุ่มนี้จะแสดงประจุลบที่ pH 6.0 ถึง 7.0 ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก และกรดกลูตามิก

3. จำแนกตามสมบัติความเป็นกรดหรือด่าง (นิธิยา, 2545 และ วีนัส และคณะ, 2545)

3.1 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกลาง (Neutral amino acids) และหมู่ R เป็นไฮโดรฟิลิก คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิลอย่างละ 1 หมู่ และหมู่ R สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ จึงสามารถละลายน้ำได้ดี ได้แก่ กลูตามีน เซรีน แอสพาราจีน และทรีโอนีน

3.2 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกลาง (Neutral amino acids) และหมู่ R เป็นไฮโดรโฟบิก คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิลอย่างละ 1 หมู่ แต่หมู่ R เป็นหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ จึงละลายน้ำได้ไม่ดี ได้แก่ อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน โปรลีน เมไธโอนีน ไกลซีน ไทโรซีน ซิสเตอีน และฟีนิลอะลานีน

3.3 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรด (Acidic amino acid) คือกรดอะมิโนที่มีหมู่อะมิโน 1 หมู่ และหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่ ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก และกรดกลูตามิก

3.4 กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง (Basic amino acid) คือกรดอะมิโนที่มีหมู่อะมิโน 2 หมู่ และหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ ได้แก่ ไลซีน ฮิสติดีน ทริปโตเฟนและอาร์จินีน

4. จำแนกตามลักษณะความต้องการของร่างกาย (นัยนา, 2546 รัชฎา, 2544 และ เสาวนีย์, 2544)

4.1 กรดอะมิโนชนิดจำเป็น (Essential amino acid) กรดอะมิโนชนิดนี้เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างหรือสังเคราะห์เองได้ หรือสังเคราะห์ได้แต่ก็ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จึงจำเป็นที่จะต้องได้รับจากอาหาร มิฉะนั้นร่างกายจะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควรและร่างกายอาจขาดสารที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมไปบางส่วน กรดอะมิโนจำพวกนี้ได้แก่ เมไธโอนีน อาร์จินีน ทรีโอนีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน ทริปโตเฟน วาลีน ฟีนิลอะลานีน และไลซีน ส่วนฮิสติดีนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในเด็ก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใหญ่สามารถสังเคราะห์ฮีสติดีนได้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

4.2 กรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็น (Nonessential amino acid) กรดอะมิโนชนิดนี้เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถสร้างหรือสังเคราะห์เองได้อย่างเพียงพอกับความต้องการ อาจไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร กล่าวคืออาจสังเคราะห์ขึ้นเองจากกรดอะมิโนชนิดจำเป็น สารประกอบพวกไนโตรเจน หรือสังเคราะห์จากไขมันหรือคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโนจำพวกนี้ได้แก่ ไกลซีน ซีรีน อะลานีน โปรลีน ซิสเตอีน กรดแอสปาร์ติก กรดกลูตามิก แอสพาราจีน ไทโรซีน และกลูตามีน

ทั้งกรดอะมิโนชนิดจำเป็นและไม่จำเป็นต่างก็มีความสำคัญต่อร่างกายเช่นเดียวกัน หากเกิดภาวะขาดกรดอะมิโนชนิดใดชนิดหนึ่งก็จะทำให้เกิดสภาวะที่ก่อให้เกิดโรคหรือความผิดปกติต่อร่างกายได้ อย่างไรก็ดีโอกาสที่จะพบการขาดกรดอะมิโนชนิดจำเป็นจะมีมากกว่ากรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นเนื่องจากร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้

สมบัติทั่วไปของกรดอะมิโน

1. ความสามารถในการละลาย (Solubility) กรดอะมิโนบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสี กรดอะมิโนบางตัวเมื่อแตกตัวแล้วจะให้สารที่มีประจุ จึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีประจุ (Polar solvent) เช่น น้ำและแอลกอฮอล์ แต่จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีประจุ (Non polar solvent) เช่น เบนซีน และเฮกเซน เป็นต้น

2. จุดหลอมเหลว (Melting points) โดยปกติกรดอะมิโนมีจุดหลอมเหลวที่สูงมาก ส่วนใหญ่จะมากกว่า 200 องศาเซลเซียส

3. รส (Taste) กรดอะมิโนมีทั้งมีและไม่มีรส มีรสขมและรสหวาน เช่น ลิวซีนไม่มีรส ไอโซลิวซีนจะให้รสขม ไกลซีน วาลีน และอะลานีนจะให้รสหวาน เป็นต้น

4. การดูดแสง (Absorption spectra) โดยทั่วไปกรดอะมิโนไม่สามารถดูดกลืนแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) แต่มีกรดอะมิโนบางชนิด เช่น ไทโรซีน ทริปโตเฟน และฟีลินอะลานีน สามารถดูดแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ซึ่งมีประโยชน์ในการหาปริมาณโปรตีน

5. กรดอะมิโนทุกชนิดสามารถเป็นไดโพลาร์ไอออน (Dipolar ion) คือ ภายในโมเลกุลของกรดอะมิโนมีทั้งประจุบวกและประจุลบในเวลาเดียวกัน หรือ ซวิตเตอร์ไอออน (Zwitterions) คือ มีประจุสุทธิเป็นศูนย์

6. กรดอะมิโนมีคุณสมบัติเป็นแอมโฟเตอร์ (Amphoter) หรือแอมโฟไลต์ (Ampholyte) คือ เป็นได้ทั้งกรดและด่าง โดยหมู่อะมิโนสามารถรับโปรตอน (H^+) ได้ทำให้มีประจุบวก ($-NH_3^+$) และหมู่คาร์บอกซิลก็สามารถให้โปรตอนได้ จึงทำให้มีประจุลบ ($-COOH^-$)

7. ปฏิกิริยานินไฮดริน (Ninhydrin reaction) เป็นปฏิกิริยา Oxidative deamination สามารถใช้ปฏิกิริยานี้ใช้ทดสอบหากรดอะมิโน (หมู่ α-NH_2 ของกรดอะมิโน) และโปรตีน กรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยากับนินไฮดรินที่อุณหภูมิสูง จะได้สารประกอบอัลดีไฮด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดจากปฏิกิริยาจะรวมกับนินไฮดรินได้สารเชิงซ้อนสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

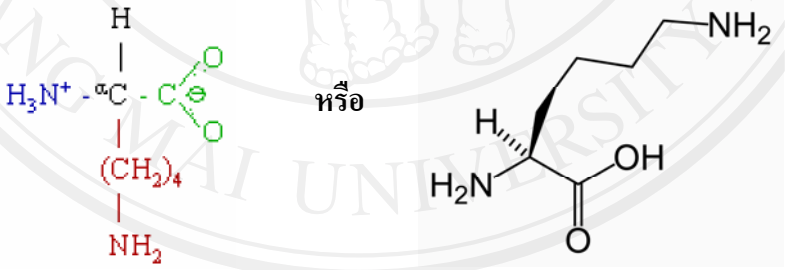
น้ำเงินม่วง (ถ้าเป็นกรดอะมิโนโปรลีนและไฮดรอกซีโปรลีนจะได้สารสีเหลือง) ปฏิกิริยานี้สามารถใช้วิเคราะห์หากรดอะมิโนและโปรตีนได้ทั้งคุณภาพและปริมาณ (นัยนา, 2546, รัชฎา, 2544 และมุกดาและนิ่มนวล, 2527)

ความสำคัญของกรดอะมิโน

กรดอะมิโนนอกจากเป็นหน่วยย่อยในการสร้างโปรตีน เพื่อสร้างเนื้อเยื่อของร่างกายและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอแล้ว ยังช่วยให้วิตามินและเกลือแร่ทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์และดูดซึมไปใช้ได้ดีมากยิ่งขึ้น ความสำคัญของกรดอะมิโนที่ได้ทำการเสริมในข้าวพาร์บอยมีดังต่อไปนี้

ไลซีน (Lysine)

ไลซีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นชนิดหนึ่งซึ่งร่างกายจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ไลซีนได้ในปริมาณที่เพียงพอ Vasal (2002) ได้กล่าวว่า ไลซีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่มีปริมาณน้อยในเมล็ดข้าวเป็นอันดับแรก (1st limiting amino acid) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Khoi *et al*. (2006) และ Kumamaru *et al*. (1997) ไลซีนมีสูตรโมเลกุลคือ $C_6H_{14}N_2O_2$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 146.2 แสดงสมบัติเป็นด่าง สามารถละลายน้ำได้ โครงสร้างโมเลกุลของไลซีนแสดงดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของกรดอะมิโนไลซีน
ที่มา: รัชฎา (2544)

ความสำคัญของไลซีน

1. ช่วยในการสร้างโปรตีน และกล้ามเนื้อ เสริมสร้างสายใยคอลลาเจน (Collagen) ในส่วนต่าง ๆ ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดริ้วรอยก่อนวัย
2. ช่วยในการเจริญเติบโต และเสริมสร้างภูมิความต้านทานให้แก่ร่างกาย
3. ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเส้นผมและเล็บ
4. ช่วยในการพัฒนากระดูกของเด็ก การดูดซึมแคลเซียมและรักษาสมดุลไนโตรเจน
5. ช่วยในการสร้างแอนติบอดี ฮอร์โมน เอนไซม์ และซ่อมแซมเนื้อเยื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. รักษาอาการบาดเจ็บ และบาดแผลต่าง ๆ

7. ทำให้ระบบหมุนเวียนโลหิตแข็งแรง และควบคุมให้เซลล์เจริญเติบโตตามปกติ

8. ช่วยเสริมสร้างหัวใจให้แข็งแรง ทำงานได้ดี ไม่เหนื่อยง่าย

แหล่งอาหารที่มีไลซีน

กรดอะมิโนไลซีนพบได้ในผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เนื้อสัตว์ นม ปลา เนย ไข่ ตับ ผักโขม

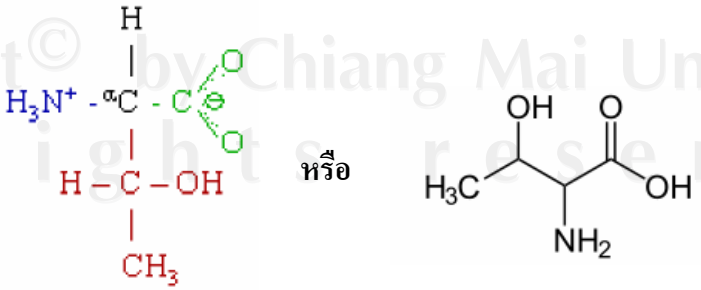
สำหรับปริมาณกรดอะมิโนไลซีนที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนในช่วงอายุต่าง ๆ สามารถดูได้จากตารางแสดงปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย หรือ Dietary Reference Intake for Thais (Thai DRI) ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

ผลของการได้รับไลซีนในปริมาณที่ไม่เพียงพอ

หากขาดหรือได้รับกรดอะมิโนไลซีนไม่เพียงพอ ร่างกายจะแสดงอาการผิดปกติ เช่น มีอาการอ่อนเพลีย ไม่มีแรง การเจริญเติบโตเป็นไปได้ช้า และมีความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ ขาดสมาธิ กระวนกระวาย ผมร่วง เป็นต้น (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2550, นัยนา, 2546 และ นิธิยา, 2545)

ทรีโอนีน (Threonine)

ทรีโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นซึ่งร่างกายจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสร้างหรือสังเคราะห์ทรีโอนีนได้ในปริมาณที่เพียงพอ Vasal (2002) กล่าวว่า ทรีโอนีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่มีปริมาณน้อยในเมล็ดข้าวเป็นอันดับที่สอง (2nd limiting amino acid) รองจากไลซีน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Khoi *et al*. (2006) และ Kumamaru *et al*. (1997) ทรีโอนีนพบในหัวใจ ระบบประสาทส่วนกลาง และกล้ามเนื้อที่เป็นโครงสร้างของร่างกาย ทรีโอนีนมีสูตรโมเลกุลคือ $C_4H_9NO_3$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 119.1 แสดงสมบัติเป็นกลาง สามารถละลายน้ำได้ดี โครงสร้างโมเลกุลของทรีโอนีนแสดงดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของกรดอะมิโนทรีโอนีน

ที่มา: รัชฎา (2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสำคัญของทรีโอนีน

1. ช่วยในการเสริมสร้างการเจริญเติบโตของร่างกาย

2. ช่วยในการทำงานของตับและช่วยป้องกันการจับตัวของไขมันในตับ

3. มีความสำคัญต่อระบบทางเดินอาหารและระบบย่อยอาหาร โดยช่วยให้การทำงานของลำไส้ ระบบการย่อย และการดูดซึมสารอาหารดีขึ้น

4. มีความสำคัญต่อการสร้างคอลลาเจน

5. ช่วยในการรักษาสมดุลโปรตีนของร่างกาย

แหล่งอาหารที่มีทรีโอนีน

กรดอะมิโนทรีโอนีนพบได้ในผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ไก่งวง ไข่ เนื้อสัตว์ ชีส เจลาติน นมพร่องไขมัน ปลา เป็นต้น

สำหรับปริมาณกรดอะมิโนทรีโอนีนที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนในแต่ละช่วงอายุนั้นสามารถดูได้จากตารางแสดงปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย หรือ Dietary Reference Intake for Thais (Thai DRI) ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

ผลของการได้รับทรีโอนีนในปริมาณที่ไม่เพียงพอ

หากขาดทรีโอนีนจะทำให้ร่างกายไม่เจริญเติบโต เบื่ออาหารหรือเกิดปัญหาในการย่อยอาหาร เกิดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียด เรอเปรี้ยว และอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคโลหิตจางได้ (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2550, นัยนา, 2546 และ นิธิยา, 2545)

การเสริมสารอาหารในเมล็ดข้าว (Nutritional fortification in rice)

เนื่องจากข้าวเปลือกที่ผ่านการขัดสีจนเป็นข้าวขาวจะทำให้มีปริมาณสารอาหารลดลงและบางส่วนยังไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จึงได้มีงานวิจัยที่ได้ทำการเสริมสารอาหารบางชนิดเพิ่มเติมลงไปในเมล็ดข้าว เช่น

ไพโรจน์ และคณะ (2549) ได้ทำการเสริมสารธาตุเหล็กในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ (ข้าวเหนียวนึ่ง) ในข้าวเหนียวพาร์บอยล์พันธุ์ กข 6 พันธุ์ กข 10 และพันธุ์สันป่าตอง 1 เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ โดยเสริมธาตุเหล็กในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) วิธีการเสริมได้ใช้เทคนิคการเคลือบเหล็กให้กับเมล็ดข้าวโดยใช้การพ่นสารผสมลงบนผิวเมล็ดข้าวพาร์บอยล์ ซึ่งมีเป้าหมายในการเสริมที่ 4 มิลลิกรัมของธาตุเหล็กต่อ 100 กรัมของข้าวเหนียวพาร์บอยล์ (ข้าวสาร) ผลการทดลองที่ได้พบว่ามีปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเหนียวพาร์บอยล์เท่ากับ 0.97 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของข้าวเหนียวพาร์บอยล์ (ข้าวสาร) ซึ่งยังไม่ประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายมากนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับวิธีการเสริมสารอาหารในเมล็ดข้าว นอกจากเสริมโดยการเคลือบหรือเติมในรูปแบบผงแล้ว ยังมีวิธีการอื่น เช่น วิธีการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายของสารอาหารที่ต้องการเสริม ซึ่งพบว่าเป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่มีเทคโนโลยีและราคาสูงเหมือนการเสริมด้วยการเคลือบ ดังเช่นรายงานของ Chitpan *et al*. (2005) ได้ทำการเสริมธาตุแคลเซียม เหล็ก ไทอามีน และโฟเลท ในข้าวสารเมล็ดหักด้วยวิธีการเคลือบและการแช่แตกต่างกัน 4 วิธี พบว่าวิธีการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายที่ประกอบด้วยสารผสมของสารอาหารต่าง ๆ ที่ต้องการเสริมเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพกว่าและได้นำมาใช้ทำการศึกษาต่อ เนื่องจากกรรมวิธีไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาในการเสริมน้อย การแช่ทำให้สารอาหารถูกดูดซึมเข้าไปในเมล็ดข้าวได้มาก จึงทำให้มีการสูญเสียสารอาหารที่ทำการเสริมในระหว่างการปรุงน้อย ผลการตรวจวิเคราะห์เมล็ดข้าวหลังการเสริม พบว่าปริมาณแคลเซียม เหล็ก วิตามินบี หนึ่ง และโฟเลท ที่สูญเสียไประหว่างช่วงกระบวนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 5, 10, 17 และ 20 ตามลำดับ

Hurrell (1997) ได้รายงานผลของการเสริมธาตุเหล็กในข้าวโดยเสริมในรูปเฟอร์ริกไพโรซัลเฟต ร่วมกับสารอาหารชนิดอื่น โดยขั้นแรกทำการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายกรดที่มีวิตามินบีหนึ่ง บีสอง บีหก ไนอาซิน และกรดแพนโทนิก แล้วนำอบด้วยไอน้ำ ทำให้แห้งแล้วเคลือบด้วยวิตามินอี ธาตุแคลเซียม และธาตุเหล็ก แล้วเคลือบด้วยสารป้องกันการหลุดของสารอาหาร บรรจุข้าวในภาชนะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายของวิตามินอี พบว่า ข้าวที่ได้มีวิตามินบีหนึ่ง บีสอง บีหก ไนอาซิน กรดแพนโทนิก ธาตุแคลเซียม ธาตุเหล็ก และวิตามินอีเท่ากับ 1.5, 0.06, 0.08, 6.0, 2.34, 8.0, 1.2 และ 1.38 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้มีแนวคิดที่จะนำหลักการในการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์และการปรับปรุงกระบวนการผลิตเข้ามาประยุกต์ใช้ ซึ่งจากผลการรายงานของไพโรจน์ และคณะ (2549) ได้ทำการคัดเลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มาเป็นตัวอย่างในงานวิจัย จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเหนียว (ที่ทำให้สุกแล้ว) ที่ผ่านกระบวนการเสริมธาตุเหล็กทั้ง 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ กข 6 พันธุ์ กข 10 และพันธุ์สันป่าตอง 1 พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ผู้บริโภคให้การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสมากที่สุด นอกจากนี้ได้ทำการเสริมธาตุอาหารเพิ่มอีก 2 ชนิด คือ แคลเซียมและไอโอดีน และกรดอะมิโนที่จำเป็นอีก 2 ชนิด ได้แก่ ไลซีนและทรีโอนีน เพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัยให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภค ทั้งนี้เนื่องมาจากภาวะขาดธาตุอาหารแคลเซียม เหล็ก และไอโอดีน ยังคงเป็นปัญหาสาธารณสุขสำหรับประเทศไทยดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ส่วนกรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีนเป็นกรดอะมิโนชนิดจำเป็นที่มีปริมาณน้อยในเมล็ดข้าวเป็นอันดับหนึ่งและสอง ตามลำดับ (1^{st} and 2^{nd} limiting amino acid) การเสริมกรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีนนั้นจะเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของโปรตีนในข้าวให้มากยิ่งขึ้นและทำให้คุณภาพของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนในข้าวสูงขึ้นด้วย อีกทั้งจะได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์ใหม่ โดยได้ประยุกต์ใช้ระบบการแช่ข้าวในสารละลายสารอาหารจากการศึกษาของ Chitpan *et al*. (2005) และ Hurrell (1997) และได้นำเทคโนโลยีกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศมาประยุกต์ใช้ร่วมด้วย ซึ่งกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศนี้เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่และทันสมัย มีข้อดีคือ ไม่ใช้ความร้อน และใช้เวลาในการแช่น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งการนำระบบการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศมาช่วยอาจจะทำให้สารอาหารสามารถแทรกซึมเข้าไปอยู่ในเมล็ดข้าวได้ผลดีและเร็วขึ้น

นอกจากนี้ยังได้มีแนวคิดที่จะปรับเปลี่ยนชนิดของสารประกอบธาตุเหล็กใช้เสริมจากเดิมที่ไพโรจน์และคณะ (2549) ได้ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) เป็นโซเดียมไอร์ออนอีดีทีเอ (NaFeEDTA) เนื่องจากจากการทดลองของ Chitpan *et al*. (2005) เรื่องการทดสอบความสามารถในการนำสารประกอบธาตุเหล็กไปใช้ของร่างกาย (Dialyzability of iron) โดยใช้วิธีทำการทดลองย่อยสารอาหารเลียนแบบร่างกายมนุษย์ในห้องปฏิบัติการ (In vitro gastrointestinal digestion method) พบว่า ธาตุเหล็กในรูปของโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ มีค่าร้อยละของธาตุเหล็กที่ดูดซึมได้ (Dialyzable iron) มากกว่าเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์รัสแลคเตท (Fe lactate) ประมาณ 20 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอสามารถละลายในอาหารได้ดี และเป็นสารประเภท Non reactive ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการรวมตัวกับสารยับยั้งการดูดซึมของธาตุเหล็กในอาหาร เช่น ไฟเตท (Phytate) และ โฟลีฟีนอล (Polyphenol) ได้ดี ทำให้เหล็กจับตัวกับไฟเตทได้น้อยลง ซึ่งนิธิยาและวิบูลย์ (2543) ได้กล่าวว่า ไฟเตท หรือเกลือของกรดไฟติก (Salts of phytic acid) จะไปขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็ก โดยไฟเตทจะไปรวมตัวกับเหล็กเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมเอาแร่ธาตุเหล็กไปใช้ได้ และจากรายงานของ International Nutritional Anemia Consultative Group (1993) ซึ่งกล่าวว่า ในพืชกลุ่มข้าวและธัญพืชซึ่งมีปริมาณไฟเตทค่อนข้างสูง การเสริมเหล็กในรูปของโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอให้กับพืชกลุ่มนี้จะทำให้ธาตุเหล็กที่เสริมมีสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) มากกว่าการเสริมเหล็กในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟตประมาณ 2 ถึง 3 เท่า โดยสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพนี้จะใช้อธิบายถึงความสามารถในการใช้สารอาหารของร่างกาย โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารอาหารที่ร่างกายได้รับกับปริมาณที่ได้ถูกนำไปใช้จริงในกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น มีการเสริมสารอาหารชนิดหนึ่งให้แก่ร่างกายคิดเป็นปริมาณ 20 มิลลิกรัม และร่างกายสามารถดูดซึมเอาสารอาหารที่เสริมนั้นไปใช้ได้ทั้งหมด 20 มิลลิกรัม ในกรณีนี้ค่าสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพจะเท่ากับร้อยละ 100 โดยถ้ามีค่าสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพคิดเป็นร้อยละมากเท่าใด แสดงว่าร่างกายสามารถดูดซึมเอาสารอาหารที่เสริมนั้นไปใช้ได้มากขึ้นตามไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับชนิดสารประกอบที่ใช้เป็นแหล่งของสารอาหารที่จะทำการเสริมในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ แสดงดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 สารประกอบที่ใช้เป็นแหล่งของสารอาหารที่จะทำการเสริมในข้าวเหนียวพาร์บอยล์

สารอาหาร	สารประกอบ
เหล็ก	โซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ ($NaFeEDTA.H_2O$)
แคลเซียม	แคลเซียมแลคเตท กลูโคเนท (CaLG)
ไอโอดีน	โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
ไลซีน	แอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ (L-Lysine HCL)
ทรีโอนีน	แอล-ทรีโอนีน (L-Threonine)

สำหรับรายละเอียดและคุณสมบัติบางประการของสารประกอบแต่ละชนิดที่จะใช้เป็นแหล่งของสารอาหารที่จะทำการเสริมในข้าวเหนียวพาร์บอยล์เป็นดังนี้

โซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ ($NaFeEDTA.H_2O$)

สารประกอบโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ เป็นแหล่งของธาตุเหล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โซเดียมไอร์ออนอีดีทีเอ (Sodium iron EDTA) หรือ NaFeEDTA เป็นชื่ออย่างง่ายที่นิยมเรียกกันทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถเรียกได้หลายชื่อตามแต่ความนิยมหรือทางการค้า เช่น Sodium iron edetate, Edathamil, Ethylenediaminetetraacetic acid ferric sodium salt, EDTA ferric sodium salt, Ethylenediaminetetraacetic acid iron (III)-Sodium salt hydrate หรือ EDTA iron (III) sodium salt โดยมีชื่อทางเคมีว่า Iron (III)-sodium ethylenediaminetetraacetate hydrate สูตรโมเลกุลคือ $C_{10}H_{12}FeN_2NaO_8$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 367.05 โซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองเข้ม ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถละลายน้ำได้โดยอาจทำให้สารละลายเป็นสีเหลืองเล็กน้อย มีค่าการละลายเท่ากับ 1.00 กรัมต่อลิตร สารประกอบโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอเป็นสารที่เกิดจากการผสมระหว่าง เหล็ก (Fe^{3+}) และ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) โดย EDTA สามารถจับตัวหรือรวมตัวกับโมเลกุลของไอร์ออนโลหะได้ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (EDTA complexes) (Sigma-Aldrich Inc., 2006 และ Sinex, 2004)

สำหรับตัวอย่างงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้นำเอาสารประกอบโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอมาใช้เป็นแหล่งของธาตุเหล็กสำหรับการเสริมสารอาหาร เช่น Munro (1993) ได้รายงานถึงการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่เสริมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและโซเดียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอร์รอนอีดีทีเอ เช่น ข้าวและถั่วต่าง ๆ น้ำนมข้าว น้ำผลไม้ มันฝรั่ง แป้งสาลี โดยรายงานเป็นค่าของสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ของธาตุเหล็ก พบว่า โซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอมีค่าของสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพมากกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต 2 ถึง 3 เท่าตัว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ International Nutritional Anemia Consultative Group (1993)

Hurrell *et al*. (2000) ได้เสริมเหล็กในผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารเช้า (Cereal food) เปรียบเทียบกับการเสริมด้วยสารประกอบที่เป็นแหล่งของธาตุเหล็กชนิดอื่น ๆ ซึ่งพบว่าการใช้โซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอส่งผลให้ร่างกายสามารถดูดซึมธาตุเหล็กได้ดีกว่าการเสริมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอรัสฟูมาเรท (Ferrous fumarate) ประมาณ 2 ถึง 4 เท่า

Chitpan *et al*. (2005) ได้รายงานผลว่าการเสริมธาตุเหล็กในข้าวเมล็ดหักในรูปของสารประกอบโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ ทำให้ค่าร้อยละของธาตุเหล็กที่ดูดซึมได้ (Dialyzable iron) โดยการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ (In vitro gastrointestinal digestion method) มากกว่าการเสริมในรูปของสารประกอบเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์รัสแลคเตท (Fe lactate) ประมาณ 20 เท่า ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

นอกจากนี้ยังได้มีการเสริมเหล็กโดยใช้สารประกอบโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอในอาหารและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกเช่น ผงกะหรี่ในประเทศแอฟริกาใต้ (Ballot *et al*., 1989) น้ำตาลในประเทศกัวเตมาลา (Viteri *et al*., 1995) น้ำปลาในประเทศเวียดนาม (Thuy *et al*., 2003) ขนมปังบิสกิตในประเทศอินเดีย (Govindaraj *et al*., 2007) และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศเวียดนาม (Le *et al*., 2007) โดยแต่ละผลิตภัณฑ์นั้นมีปริมาณธาตุเหล็กที่เพิ่มขึ้นตามเป้าหมาย

จากการที่สารประกอบ EDTA เป็นสารที่สามารถรวมตัวกับธาตุที่เป็นโลหะได้เป็นอย่างดี (Strong metal chelator) จึงทำให้เกิดข้อกังวลว่าการใช้ NaFeEDTA เป็นแหล่งของธาตุเหล็กสารประกอบ EDTA อาจจะไปจับตัวกับธาตุอาหารอื่น ๆ โดยเฉพาะอาจจะไปจับตัวกับแคลเซียมในกระบวนการเสริมธาตุอาหารหลังจากที่ธาตุเหล็กได้แยกตัวออกจากสารประกอบ EDTA แล้ว จากรายงานของ Hurrell *et al.* (1994) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของสารประกอบ EDTA ที่มีต่อการเสริมสารอาหารในหนูทดลองสรุปได้ว่า NaFeEDTA ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการดูดซึมธาตุอาหารอื่น ๆ คือ แคลเซียม สังกะสี และทองแดง ในร่างกายของหนูทดลอง โดยหลังจากที่สารประกอบ EDTA ที่แยกตัวออกมาจากธาตุเหล็กแล้วร้อยละ 5 ของปริมาณ EDTA จะถูกดูดซึมและขับออกมาในรูปของปัสสาวะ ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกมาทางอุจจาระ จากรายงานดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่าการใช้ NaFeEDTA เป็นแหล่งของธาตุเหล็กนั้นจะไม่ไปรบกวนการดูดซึมธาตุเหล็กในกระบวนการเสริมสารอาหารนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคลเซียมแลคเตท กลูโคเนท (CaLG)

สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้สารประกอบแคลเซียมแลคเตท กลูโคเนท เป็นแหล่งของธาตุแคลเซียม สารประกอบแคลเซียมแลคเตท กลูโคเนทได้รับการพัฒนาและนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดยบริษัท Sandoz จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทผลิตยาของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ แคลเซียมแลคเตท กลูโคเนท (Calcium lactate gluconate) หรือ CaLG เป็นชื่อที่เรียกกันโดยทั่วไปรวมถึงเป็นชื่อทางการค้า โดยมีชื่อทางเคมี (IUPAC name) ว่า Calcium (S)-2-hydroxy propanoate 2, 3, 4, 5, 6-pentahydroxy hexanoate มีสูตรโมเลกุล คือ $C_9H_{16}O_{10}Ca$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 324.3 แคลเซียมแลคเตท กลูโคเนท มีลักษณะเป็นผงสีขาว เป็นสารผสมที่เกิดจากการผสมกันระหว่างสารประกอบแคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate) และ แคลเซียมกลูโคเนท (Calcium gluconate) ซึ่งมีข้อดีคือมีค่าการละลายเท่ากับ 400 กรัมต่อลิตร ซึ่งมากกว่าค่าการละลายของแคลเซียมแลคเตทและแคลเซียมกลูโคเนท (ค่าการละลายเท่ากับ 66 และ 35 กรัมต่อลิตรตามลำดับ) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อละลายน้ำแล้วจะให้สารละลายที่เป็นกลาง (มีค่า pH ประมาณ 7) ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เสริมเพื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมในผลิตภัณฑ์อาหาร (Wikipedia, 2006a และ PURAC biochem Co., Ltd., 2005)

ตัวอย่างงานวิจัยที่ทำการเสริมแคลเซียมในผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้แคลเซียมแลคเตท กลูโคเนทเพื่อเป็นแหล่งของแคลเซียม เช่น Sharma *et al*. (1998) ได้เสริมสารอาหารในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมดื่ม คือ โปรตีน แคลเซียม วิตามินซี กรดโฟลิก และใยอาหาร โดยใช้แคลเซียมแลคเตท กลูโคเนทเป็นแหล่งของแคลเซียม โดยผลการศึกษาพบว่าแคลเซียมที่เสริมเข้าไปสามารถคงตัวอยู่ในน้ำผลไม้ได้ คิดเป็นปริมาณร้อยละ 20 ของ Recommended Dietary Allowance (RDA) และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลาง โดยมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.1 จากคะแนนเต็ม 9 คะแนน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของนิภาพร (2545) ที่ได้ทำการเสริมแคลเซียมและวิตามินดีในน้ำกระท้อน โดยเสริมแคลเซียมในรูปของแคลเซียมแลคเตท กลูโคเนทเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ Chitpan *et al*. (2005) ได้รายงานว่า ในการเสริมสารอาหารในข้าวเมล็ดหักชนิดของสารประกอบของแคลเซียมมีผลต่อค่าร้อยละของธาตุเหล็กที่ดูดซึมได้เช่นกัน (Dialyzable iron) โดยค่าร้อยละของธาตุเหล็กที่ดูดซึมได้จะสูงขึ้นในสารละลายที่มีแคลเซียมแลคเตท กลูโคเนทผสมกับโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ หรืออีกนัยหนึ่งคือโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอและแคลเซียมแลคเตท กลูโคเนทจะช่วยส่งเสริมซึ่งกันและกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)

ได้มีการเลือกสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตมาใช้เพื่อเป็นแหล่งของธาตุไอโอดีนในการเสริมสารอาหารในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ โพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium iodate) หรือ KIO_3 เป็นชื่อที่นิยมเรียก หรืออาจเรียกได้อีกชื่อ คือ Iodic acid potassium salt โพแทสเซียมไอโอเดตมีสูตรโมเลกุลคือ KIO_3 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 214.0 โพแทสเซียมไอโอเดตเป็นเกลือของไอโอดีนและเป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ที่รุนแรง โดยโพแทสเซียมไอโอเดตจะถูกริดิวซ์ให้กลายเป็นไอโอดีนและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายต่อไป โพแทสเซียมไอโอเดตมีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่นมีความหนาแน่นเท่ากับ 3.93 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีความสามารถในการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 320 กรัมต่อลิตร (Wikipedia, 2006b and Winger *et al*., 2005)

สำหรับตัวอย่างงานวิจัยที่ได้นำเอาสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตมาใช้เป็นแหล่งของธาตุไอโอดีนสำหรับการเสริมสารอาหาร เช่น ประพันธ์ และคณะ (2548) ได้ทำการเสริมในอาหารของแม่ไก่ พบว่า การใช้โพแทสเซียมไอโอเดตมาเป็นแหล่งของไอโอดีน มีข้อดีกว่าการใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) กล่าวคือ อาหารผสมที่ได้รับการเสริมสารอาหารมีค่าระดับไอโอดีนใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากโพแทสเซียมไอโอเดตมีความคงทนต่อสภาพอากาศที่ร้อนและชื้นของประเทศไทยได้ดี จึงมีการสูญเสียโพแทสเซียมไอโอเดตในระหว่างกระบวนการผลิตน้อยซึ่งตรงกับรายงานของแสงโสม และคณะ (2540) ซึ่งได้ทำการเสริมโพแทสเซียมไอโอเดตเพื่อเป็นแหล่งไอโอดีนในเกลือและน้ำดื่ม เนื่องจากโพแทสเซียมไอโอเดตมีคุณสมบัติที่คงตัวในสภาพอากาศที่ร้อนชื้นมากกว่า

Tulyathan *et al*. (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณคงเหลือของธาตุไอโอดีน (Iodine retention) ในข้าวพาร์บอยล์ที่ผ่านการเสริมไอโอดีน โดยเสริมไอโอดีนในรูปแบบของสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต โพแทสเซียมไอโอไดด์ และสารประกอบผสมของสารทั้ง 2 ชนิด พบว่า ข้าวพาร์บอยล์ที่ผ่านการเสริมด้วยโพแทสเซียมไอโอเดตจะมีปริมาณไอโอดีนคงเหลือในข้าวพาร์บอยล์สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 90.13 ของปริมาณที่เสริม และจากการพิจารณาความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา (Storage stability) พบว่า ข้าวพาร์บอยล์ที่ผ่านการเสริมด้วยโพแทสเซียมไอโอเดตมีปริมาณไอโอดีนลดลงเพียงเล็กน้อยหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน

นอกจากนี้ ได้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้โพแทสเซียมไอโอเดตเป็นแหล่งของไอโอดีนสำหรับการเสริมในเกลือของประเทศปากีสถาน (Rafiq, 2002) และในผลิตภัณฑ์อาหารของประเทศนิวซีแลนด์ (Winger *et al*., 2005) ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ (L-Lysine HCL)

สารประกอบแอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ จะเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ (L-Lysine HCL) เป็นชื่อนิยมเรียกกันทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถเรียกได้หลายชื่อตามแต่ความนิยมหรือทางการค้า เช่น L-Lysine monohydrochloride, L(+)-2,6-Diaminocaproic acid hydrochloride, และ L(+)-2,6-Diaminohexanoic acid hydrochloride โดยมีชื่อทางเคมี (IUPAC name) คือ 2, 6-diaminohexanoic acid สูตรโมเลกุล คือ $C_6H_{14}N_2O_2.HCl$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 182.65 แอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์มีลักษณะเป็นผลึกผง สีขาวใส สามารถละลายน้ำได้ โดยมีค่าการละลายเท่ากับ 500 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ChemBlink, Co., Ltd, 2006a และ HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., 2006a)

แอล-ทรีโอนีน (L-Threonine)

สำหรับสารประกอบแอล-ทรีโอนีน จะใช้เป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แอล-ทรีโอนีน (L-Threonine) เป็นชื่อนิยมเรียกกันทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถเรียกได้หลายชื่อตามแต่ความนิยมหรือทางการค้า เช่น L-2-Amino-3-hydroxybutyric acid มีชื่อทางเคมี (IUPAC name) คือ (2S,3R)-2-Amino-3-hydroxybutanoic acid โดยมีสูตรโมเลกุล คือ $C_4H_9NO_3$ มวลโมเลกุลเท่ากับ 119.12 แอล-ทรีโอนีนมีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่น สามารถละลายน้ำได้ โดยมีค่าการละลายเท่ากับ 90 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเศียส (ChemBlink, Co., Ltd, 2006b และ HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., 2006b)

สำหรับปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ที่จะเสริมในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ คือ ธาตุเหล็ก แคลเซียม ไอโอดีน กรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีน จะได้ทำการพิจารณาว่าควรกำหนดเป้าหมายเป็นปริมาณค่าร้อยละมากน้อยเพียงใดตามความต้องการของร่างกายแต่ละวัน จากการสืบค้นข้อมูลพบว่า ได้มีรายงานการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณสารที่ใช้ในการเสริมในอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น Chitpan *et al.* (2005) ศึกษากระบวนการเสริมสารอาหารในข้าวเจ้าเมล็ดหักที่ร้อยละ 40 ของปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับในแต่ละวัน

Martianto *et al*. (2006) ได้ศึกษาถึงการเสริมวิตามินเอในน้ำมันสำหรับประกอบอาหาร โดยมีเป้าหมายให้ร่างกายได้รับวิตามินเอในปริมาณร้อยละ 30 ของความต้องการในแต่ละวัน

Winichagoon *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาการเสริมวิตามินเอ ธาตุเหล็ก สังกะสี และไอโอดีน ในรูปแบบผงปรุงรสสำหรับใช้รับประทานร่วมกับข้าวในหนึ่งวัน (3 มื้อ) ที่ร้อยละ 40 ของปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับในแต่ละวัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

UNESDA (2006) ได้แนะนำให้เสริมวิตามินและแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่ระดับร้อยละ 30 ของปริมาณของความต้องการสารอาหารในแต่ละวัน

จากการที่ตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวได้มีการเสริมสารอาหารที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 ของปริมาณที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวัน เพื่อให้ได้ปริมาณสารอาหารที่ต้องการเสริมอย่างแน่นอนและสามารถนำมาใช้กำหนดค่าอ้างอิงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต จึงได้ประมาณค่าปริมาณสารอาหารที่ต้องการเสริมจากงานวิจัยก่อนหน้า คือ ระหว่างตรงกลางของร้อยละ 30 และ 40 เท่ากับร้อยละ 35 ของความต้องการสารอาหารในแต่ละวันของร่างกาย และจะนำค่านี้มาคำนวณและประยุกต์ใช้ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตต่อไป ทั้งนี้ Chitpan *et al.* (2005) ได้แนะนำว่าร่างกายควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ แหล่งอาหารธรรมชาติเป็นหลัก ส่วนการเสริมสารอาหารจะทำการเสริมเพียงระดับหนึ่งเพื่อแก้ไขปัญหาทางโภชนาการบางกรณีเท่านั้น

ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Dietary Reference Intake for Thais, Thai DRI)

ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย หรือ Dietary Reference Intake for Thais (Thai DRI) เป็นค่าเฉลี่ยของสารอาหารที่ควรได้รับประจำวัน ซึ่งตรงกับความต้องการของสารอาหารของคนที่มีสุขภาพดีเกือบทั้งหมด (ร้อยละ 97 ถึง 98) ของแต่ละเพศ อายุและวัย หรือภาวะทางสรีระวิทยา เช่น หญิงตั้งครรภ์ และหญิงให้นมบุตร (คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2546) ทั้งนี้ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทยบางรายการแสดงดังตาราง 2.5 และตาราง 2.6

ตาราง 2.5 ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Dietary Reference Intake for Thais, DRI) ปริมาณแร่ธาตุที่แนะนำสำหรับแต่ละบุคคล

กลุ่มตามอายุและเพศ	แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อวัน)	เหล็ก (มิลลิกรัมต่อวัน)	ไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อวัน)
ทารก			
0-5 เดือน [†]	---------- น้ำนมแม่ ----------		
6-11 เดือน	270*	9.3*	90*
เด็ก			
1-3 ปี [‡]	500*	5.8	90
4-5 ปี	800*	6.3	90
6-8 ปี	800*	8.1	120

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Dietary Reference Intake for Thais, DRI) ปริมาณแร่ธาตุที่แนะนำสำหรับแต่ละบุคคล (ต่อ)

กลุ่มตามอายุและเพศ	แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อวัน)	เหล็ก (มิลลิกรัมต่อวัน)	ไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อวัน)
วัยรุ่นผู้ชาย			
9-12 ปี	1000*	11.8	120
13-15 ปี	1000*	14.0	150
16-18 ปี	1000*	16.6	150
วัยรุ่นผู้หญิง			
9-12 ปี	1000*	19.1[ก]	120
13-15 ปี	1000*	28.2	150
16-18 ปี	1000*	26.4	150
ผู้ชาย			
19-30 ปี	800*	10.4	150
31-50 ปี	800*	10.4	150
51-70 ปี	1000*	10.4	150
มากกว่า 71 ปี	1000*	10.4	150
ผู้หญิง			
19-30 ปี	800*	24.7	150
31-50 ปี	800*	24.7	150
51-70 ปี	1000*	9.4	150
มากกว่า 71 ปี	1000*	9.4	150
หญิงตั้งครรภ์			
ไตรมาสที่ 1	+ 0	–[ข]	+ 50
ไตรมาสที่ 2	+ 0		+ 50
ไตรมาสที่ 3	+ 0		+ 50
หญิงให้นมบุตร			
0-5 เดือน	+ 0	–[ค]	+ 50
6-11 เดือน	+ 0		+ 50

ที่มา: คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หมายเหตุ

ค่าที่นำเสนอในตารางนี้สำหรับปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับประจำวัน (Recommended Dietary Allowance หรือ RDA) แสดงด้วยตัวเลขทึบ ปริมาณสารอาหารที่พอเพียงในแต่ละวัน (Adequate Intake หรือ AI) แสดงด้วยตัวเลขธรรมดาและมีเครื่องหมาย * กำกับอยู่ข้างบน ค่า RDA และ AI เป็นปริมาณที่แนะนำสำหรับแต่ละบุคคลทั้ง 2 ค่า ความแตกต่างอยู่ที่การได้มา RDA จะเป็นปริมาณที่ครอบคลุมความต้องการของบุคคลในกลุ่ม (ร้อยละ 97 ถึง 98) สำหรับทารกซึ่งดื่มน้ำนมแม่และมีสุขภาพดี ใช้ค่า AI ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากน้ำนมแม่ สำหรับค่า AI ตามเพศและวัยอื่น ๆ เชื่อว่าเป็นค่าที่เพียงพอสำหรับความต้องการของบุคคลในกลุ่มแต่ยังขาดข้อมูลหรือความไม่แน่นอนของข้อมูลที่จะนำไปกำหนดปริมาณที่บริโภคตามร้อยละความเชื่อมั่น

ปริมาณความต้องการแร่ธาตุของหญิงตั้งครรภ์ และหญิงให้นมบุตร ดังแสดงหลังเครื่องหมาย + หมายถึง ปริมาณที่ควรได้รับเพิ่มจากความต้องการในภาวะปกติ

† เด็กแรกเกิดจนถึงก่อนอายุครบ 6 เดือน

‡ เด็กอายุ 1 ปีจนถึงก่อนอายุครบ 4 ปี

ก สำหรับหญิงที่ยังไม่มีประจำเดือนควรได้รับธาตุเหล็กจากอาหาร 11.8 มิลลิกรัมต่อวัน

ข หญิงตั้งครรภ์ควรได้รับยาเม็ดธาตุเหล็กเสริม 60 มิลลิกรัมต่อวัน

ค หญิงให้นมบุตรควรได้รับธาตุเหล็กจากอาหาร 15 มิลลิกรัมต่อวัน เนื่องจากหญิงให้นมบุตรไม่มีประจำเดือนจึงไม่มีการสูญเสียธาตุเหล็ก

ตาราง 2.6 ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นเฉลี่ยในช่วงอายุต่าง ๆ ของร่างกายที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Dietary Reference Intake for Thais, DRI)

ชนิดของกรดอะมิโนจำเป็น	ความต้องการ (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกายในหน่วยกิโลกรัมต่อวัน)	
	เด็ก (อายุ 0-5 ปี)	**ผู้ใหญ่**
ฮิสติดีน	28	10
ไอโซลิวซีน	70	10
ลิวซีน	161	14
ไลซีน	103	12
เมไธโอนีน (และซิสเตอีน)	58	13
ฟีนิลอะลานีน (และไทโรซีน)	125	14
ทรีโอนีน	87	7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.6 ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นเฉลี่ยในช่วงอายุต่าง ๆ ของร่างกายที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Dietary Reference Intake for Thais, DRI) (ต่อ)

ชนิดของกรดอะมิโนจำเป็น	**ความต้องการ** (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกายในหน่วยกิโลกรัมต่อวัน)	
	เด็ก (อายุ 0-5 ปี)	**ผู้ใหญ่**
ทรีโอนีน	87	7
ทริปโตเฟน	17	3.5
วาลีน	93	10

ที่มา: คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (2546) และกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved