บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 แรงจูงใจที่เป็นผลให้มีการผลิต Dairy analogs

จากความไม่สมดุล ระหว่างความต้องการ และ แหล่งอาหารโปรตีนที่มีอยู่ เป็นสิ่งที่เตือนให้เห็นว่าประเทศต่าง ๆ ในโลกไม่สามารถที่จะขึ้นอยู่กับแหล่งของ โปรตีนที่มีการซื้อขายในปัจจุบันได้โดยสิ้นเชิง การขาดแคลนโปรตีนจากสัตว์ชี้ให้เห็นว่า เป็นการสมควรอย่างยิ่งที่จะใช้โปรตีนจากพืช เช่น พืชจำพวกถั่ว, พืชน้ำมัน มาเสริมหรือทดแทนบางส่วนของ อาหาร โปรตีนที่มาจากสัตว์ อย่างไรก็ตามเป็นที่คาดหมายกันว่าความชอบของคนที่มีต่ออาหาร โปรตีนที่มาจากสัตว์นั้น จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างชนิดถอนรากถอนโคน ดังนั้นผู้ผลิตจึงควรจะผลิตในลักษณะที่เป็นการเสริมหรือเลียนแบบอาหาร โปรตีนจากสัตว์ (9,10,11)

โครงการร่วมระหว่าง FAO/WHO/UNICEF (PAG:- Protein-Calorie Advisory Group of the United Nations System) ได้กล่าวถึงการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนแหล่งอาหาร โปรตีนจากสัตว์ว่า การนำ protein concentrates, nutritionally suitable oils และ acceptable carbohydrates มารวมกันอย่างเหมาะสมจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารไม่ด้อยไปกว่า นม และผลิตภัณฑ์นม นอกจากนี้ PAG ได้พยายามกระตุ้นให้ผู้ผลิตนมในบริเวณที่ขาดแคลนโปรตีน หรือบริเวณที่นมจากสัตว์ขาดแคลน หาได้ยากหรือราคาแพง ให้มีการผลิตและใช้ dairy analog ทดแทน โดยมีฉลากระบุคุณค่าทางอาหารและแหล่งที่มาของ โปรตีนเป็นต้น นอกจากนี้ The American Academy of Pedriatics' Committee on Nutrition ได้รวบรวมข้อสรุปในเรื่องนี้ว่า imitation milk products หรือ nondairy white beverages ถูกผลิตขึ้นมาและนำมาประเมินผลในหลาย ๆ ประเทศ ในขณะที่นมและแหล่งของ โปรตีนที่มีคุณภาพสูง มีราคาแพง, ปริมาณน้อย และไม่เพียงพอแก่ความต้องการ ดังนั้นจึงได้มีการพยายามวิจัย จัดหาและพัฒนาเพื่อขยายแหล่งของอาหารที่มีคุณค่าทาง โภชนาการต่อไปอย่างไม่สิ้นสุด ตัวอย่างเช่น โครงการ PL 480(U.S. Food for Peace Program) ได้จัดทำตัวอย่างอาหารที่มีคุณค่าทาง โภชนาการ โดยใช้ธัญพืช และพืชน้ำมันนำมาเพิ่มคุณค่าทาง โภชนาการด้วยการ

ด้วยการเติมแร่ธาตุและโปรตีนจากนม (12)

อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ใหม่จะมีปัญหาในเรื่องของกลิ่นรส และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมมีความละเอียดอ่อนยากที่จะทำให้เหมือนได้ จากงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีของ dairy product analogs โดยใช้โปรตีนจากพืชแทนที่เพียงบางส่วน หรือทั้งหมดนั้น พบว่าปัญหาสำคัญในกรณีที่ใช้ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนนั้นพบว่ามีกลิ่นแรง (strong flavor) สำหรับกลิ่นรสบางอย่างในถั่วเหลืองนั้นสามารถกำจัดหรือทำให้ลดลงได้ แต่กลิ่นรสที่ผู้บริโภคไม่ชอบนั้นยังคงอยู่ จึงทำให้มีขอบเขตจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ (8,12)

2.2 การนำพืชมาผลิตเป็นเครื่องดื่มประเภทที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ

นมเทียมจากพืชหรือเรียกว่าเครื่องดื่มที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ (protein beverages) หรือ nondairy white beverages นี้มีตัวอย่างที่เรารู้จักกันดีได้แก่ นมถั่วเหลือง นมถั่วเหลืองใช้เป็นเครื่องดื่มในหลายประเทศเช่น จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน ไทย อินโดนีเซีย เป็นต้น ในประเทศ จีน ญี่ปุ่น และอินโดนีเซีย ได้ใช้นมถั่วเหลืองที่มีการปรับปรุงคุณค่าทางอาหารให้ใกล้เคียงกับนมวัวหรือนมมารดา มาใช้สำหรับเลี้ยงทารก และเด็กมาเป็นเวลานานแล้ว และนอกจากนี้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเองก็ได้นำมาใช้เลี้ยงเด็กอ่อนแทนนมวัวสำหรับเด็กที่มีอาการแพ้นมวัว (7,13)

อย่างไรก็ตาม การนำพืชมาใช้ผลิตเป็นเครื่องดื่มประเภทที่มีโปรตีนนี้ก็จะมีปัญหาเนื่องมาจากพืชแต่ละชนิดก็มีปริมาณและชนิดของโปรตีนที่แตกต่างกันออกไป และโปรตีนจากพืชต่างชนิดกันจะขาดกรดอะมิโนจำเป็นต่างกันออกไป เช่น ธัญพืชส่วนใหญ่จะขาดแคลน lysine ส่วนพืชตระกูลถั่วก็จะมี methionine ในปริมาณต่ำ (2) ดังนั้น ในการผลิตนมเทียมจากพืชจึงมีการเพิ่มปริมาณและคุณภาพของโปรตีน โดยการนำโปรตีนจากแหล่งอื่นมาผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งอาจจะใช้โปรตีนจากพืชด้วยกันหรือโปรตีนจากสัตว์

นอกจากถั่วเหลืองแล้วยังมีพืชหลายชนิดที่สามารถนำมาผลิตเป็น nondairy white beverage ได้ แต่สำหรับพืชชนิดอื่นนั้นเพิ่งเริ่มมีการทดลองวิธีการผลิต จึงยังไม่เป็นที่แพร่หลาย สำหรับพืชอื่น ๆ ที่มีผู้นำมาทดลองผลิตได้แก่ ถั่วลิสง ถั่วพู ข้าวโพด รำข้าว ข้าวจ้าว และ งา (7,8)

นมถั่วเหลือง นมถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ที่แพร่หลายในกลุ่มชนตะวันออก การผลิตนมถั่วเหลืองในปัจจุบันนี้ได้มีการใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพทั้งทางด้านคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติให้ดีขึ้น ถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม นำมาผลิตนมถั่วเหลืองได้ประมาณ 5 ลิตร โดยมีโปรตีน 3.14 เปอร์เซนต์, ไขมัน 1.50 เปอร์เซนต์ และคาร์โบไฮเดรต 5.39 เปอร์เซนต์ (7)

นมถั่วลิสง ถั่วลิสง 1 กิโลกรัม นำมาผลิตนมถั่วลิสงได้ประมาณ 8 ลิตร โดยมีโปรตีน 3 เปอร์เซนต์ ไขมัน 5.2 เปอร์เซนต์ ถ้านำมาผสมกับนมถั่วเหลืองจะทำให้น่ารับประทานมากขึ้น การทำนมถั่วลิสงยังไม่แพร่หลายเหมือนนมถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากถั่วลิสงมีสารพิษ แอฟลาท็อกซิน ซึ่งเกิดจากรา Aspergillus flavus (7)

นมถั่วพู การผลิตนมถั่วพูจะต้องใช้ถั่วพูเมล็ดแก่ รสชาติของนมที่ได้มี nutty flavor เมล็ดถั่วพูแก่ 1 กิโลกรัม ผลิตได้นมถั่วพูประมาณ 5-6 ลิตร โดยมีโปรตีน 2-3 เปอร์เซนต์ และไขมัน 3 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารเท่าเทียมนมวัว โปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดถั่วพูแก่จะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนใกล้เคียงกับถั่วเหลือง การผลิตนมถั่วพูยังทำเป็นอุตสาหกรรมไม่ได้ในขณะนี้ เนื่องจากยังไม่มีเมล็ดถั่วพูจำหน่ายในท้องตลาด ที่จำหน่ายมีเพียงเมล็ดพันธุ์และฝักอ่อนเท่านั้น (7)

นมรำข้าว นมจากรำข้าวจะมีโปรตีน 3.60 เปอร์เซนต์, ไขมัน 4.81 เปอร์เซนต์ สำหรับปัญหาในการผลิตนมจากรำข้าวขึ้นกับวัตถุดิบ คือ จะต้องใช้รำข้าวใหม่, สด สะอาดไม่เหม็นหืน นมรำข้าวที่ได้จึงจะมีคุณภาพดี (7)

นมข้าวจ้าว เนื่องจากโปรตีนของข้าวจ้าวขาดแคลน lysine ดังนั้นถ้าจะให้คุณค่าทางโภชนาการของนมข้าวจ้าวเท่าเทียมกับนมวัวหรือนมมารดา จึงต้องมีการผสมนมวัวลงไปด้วย จากการทดลองของ มาลีและคณะ (13) ผลิตนมข้าวจ้าวโดยใช้อัตราส่วนของข้าวนางมลเอส-4 : น้ำเท่ากับ 1 : 13 (โดยน้ำหนัก) ผสมน้ำตาลทราย และน้ำมันถั่วเหลืองอย่างละ 2.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และนำมาผสมกับนมวัวในอัตราส่วน นมข้าวจ้าว : นมวัว 2.5 : 1 (โดยปริมาตร) นมข้าวจ้าวผสม มีโปรตีน 1.92 เปอร์เซนต์, ไขมัน 3.35 เปอร์เซนต์, คาร์โบไฮเดรต 7.45 เปอร์เซนต์ และนอกจากนี้ Chemical score สำหรับ lysine เพิ่มขึ้นจาก 49 เป็น 107 (7,13)

นมงา งาที่จะนำมาผลิตเป็นนมงานั้นจะต้องเป็นงาที่ปอกเปลือก ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกงามี oxalate สูง อาจทำให้เป็นนิ่วได้ และจะต้องผ่านการคั่วก่อนเพื่อจะให้มีกลิ่นหอมชวนรับประทาน สำหรับปัญหาในการทำนมงาคือ ถ้าต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โปรตีนจะตกตะกอน อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 70-80 องศาเซลเซียส การผลิตนมงาจะผสมกับนมถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ทัดเทียมนมวัวหรือนมมารดา ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจากงาขาดแคลน lysine แต่มี methionine สูง ซึ่งตรงกันข้ามกับถั่วเหลือง ในการผลิตนมงาจะใช้อัตราส่วนระหว่าง แป้งงา : น้ำ 1 : 7 (โดยน้ำหนัก) งาดิบ 1 กิโลกรัม จะผลิตนมงาได้ 4-5 ลิตร นมงาที่ได้มีโปรตีน 1.96 เปอร์เซนต์ ไขมัน 1.45 เปอร์เซนต์ (14)

นมข้าวโพด การผลิตนมข้าวโพดจะต้องใช้ข้าวโพดสด (อายุประมาณ 60 วัน) และนมจากข้าวโพดที่ผลิตได้นี้จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของโปรตีน โดยการเติม นมผง และนมถั่วเหลืองลงไปผสม ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดขาดแคลน lysine และ tryptophan ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น จากรายงานของ เรืองศรี (15) ซึ่งทดลองผลิต corn-soy beverage จากข้าวโพดสดโดยใช้อัตราส่วนของข้าวโพด : น้ำ เท่ากับ 1 : 2 และนำมาผสมกับนมถั่วเหลือง (ซึ่งผลิตโดยอัตราส่วนของถั่วเหลือง : น้ำ เท่ากับ 1 : 5) นมผง และน้ำตาล พบว่าสูตรที่ดีที่สุด มีอัตราส่วนของ นมข้าวโพด : นมถั่วเหลือง : นมผง : น้ำตาล 70 : 25 : 5 : 0 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้มีโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต 27.68, 14.66 และ 47.21 เปอร์เซนต์ (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และมีกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกาย 4 ชนิด คือ tryptophan threonine leucine และ lysine ที่ได้มาตรฐานของ FAO/WHO (1973)

2.3 ผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวโพดที่มีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการด้วยแป้งถั่วเหลือง และ/หรือ นมผง

การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ผลิตจากข้าวโพด โดยวิธีการใช้ข้าวโพดผสมกับถั่วเหลือง เป็นอาหารซึ่งเป็นที่ยอมรับของนักโภชนาการมานานแล้ว เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพของโปรตีน (16)

Bookwalter และคณะ (17) ได้ทดลองผสมแป้งถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์ข้าวโพด (corn meal) พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการเป็นที่น่าพอใจเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่ปราศจากเชื้อพันธุ์ (degermed corn meal) ผสมกับแป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมัน (defatted soy flour) 15 เปอร์เซนต์ หรือแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็ม (full fat soy flour) 20 เปอร์เซนต์ หรือแป้งถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมัน และผ่านการทำให้สุกแล้ว (processed defatted soy flour) 35 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้จากรายงานของ Dimler (18) ได้กล่าวถึงในเรื่องนี้ว่า อาหารผสมระหว่างข้าวโพดและถั่วเหลืองจะมีกรดอะมิโนจำเป็นที่มีคุณค่ามากกว่าของข้าวโพดหรือถั่วเหลืองอย่างใดอย่างหนึ่ง และคุณค่าทางอาหารของกรดอะมิโนจำเป็นดังกล่าวจะใกล้เคียงกับไข่ทั้งฟอง ที่ใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบของ FAO/WHO

อาหารผสมจากธัญพืช ถูกพัฒนาขึ้นมาในเวลาที่ขาดแคลนนมผงและความต้องการทางด้านอาหารโปรตีนสูงขึ้น และนอกจากนี้โครงการของประเทศกำลังพัฒนา เช่น โครงการอาหารสำหรับโรงเรียน และศูนย์กลางอนามัยสำหรับแม่และเด็ก ต้องการผลิตภัณฑ์อาหารอื่นมาทดแทน ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์อาหารผสมจากธัญพืช ซึ่งมีการผลิตกันมากในขณะนั้นก็คือ Corn-Soy-Milk (CSM) และ Corn-Soy-Blend (CSB) (6, 19)

CSM ประกอบไปด้วยอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งมีความสมดุลกันเป็นอย่างดี โดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งกับโปรตีน ส่วนประกอบหลักของ CSM ได้แก่ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดกึ่งสำเร็จรูป (precooked corn meal) แป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมันที่คั่วแล้ว (defatted toasted soy flour) นมผงปราศจากไขมัน (non-fat dry milk ส่วนผสมของ CSM ดังกล่าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีโปรตีนอย่างต่ำ 19 เปอร์เซนต์ โดยมี protein efficiency ratio (PER) 2.42-2.48 ซึ่งสูงกว่าค่า PER ของข้าวโพด หรือ ถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียว และค่า PER ดังกล่าวนี้ใกล้เคียงกับไข่ไก่ทั้งฟอง ซึ่งมี PER 2.5 (11, 20, 21) สำหรับ CSB มีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับ CSM ยกเว้นไม่เติมนมผง (20)

สูตรของ CSM (ตารางที่ 1) ได้รับการปรับปรุงใหม่โดย The American Corn Miller's Federation ตามแนวทางที่ได้จัดทำโดยกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (U.S.D.A.) ร่วมกับหน่วยงานเพื่อการพัฒนาระหว่างประเทศ (Agency for International Development) และสถาบันอนามัยแห่งชาติ (National Institute of Health)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของ **Corn-Soy-Milk** ที่ได้รับการปรับปรุงโดย The The American Corn Miller's Federation (20)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซนต์
แป้งข้าวโพดที่สุกแล้ว	63.8
แป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมันที่ดั่วแล้ว	24.2
นมผงปราศจากไขมัน	5.0
เกลือแร่และวิตามิน	2.0
น้ำมันถั่วเหลือง	5.0

CSM สูตรที่ได้รับการปรับปรุงใหม่นี้จะมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 19 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักแห้ง, ค่าต่ำสุดของปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจากเดิม 2 เปอร์เซนต์ เป็น 6 เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักแห้ง และความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์

ในการนำส่วนประกอบต่าง ๆ มารวมกันเพื่อผลิตเป็น CSM นั้น อาจใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น roll-cooking extrusion cooking เป็นต้น (20)

CSM เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสนุ่มนวล และมีเนื้อสัมผัสดี เวลารับประทานจะนำมาผสมกับน้ำด้วยสัดส่วนที่เหมาะสม แล้วต้มให้เดือด 1-2 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่เป็นของเหลวข้น (gruel) หรือเครื่องดื่มตามต้องการ ในกรณีที่เป็นเครื่องดื่มจะเติมน้ำตาลเพื่อทำให้ได้ส่วนผสมเป็นที่ยอมรับมากขึ้น และยังเป็นการเพิ่มพลังงานอีกด้วย (20) และสำหรับ corn-soy beverage จะนำตัวอย่างมาละลายน้ำให้มีของแข็ง 10 เปอร์เซนต์ ต้มให้เดือด 1 นาที ใช้เป็นเครื่องดื่มได้เป็นอย่างดี (15) สำหรับความหนืดของผลิตภัณฑ์ขณะเย็น (cold paste viscosity) ในลักษณะที่เป็นของเหลวข้น (gruel) ควรมีค่าความหนืดประมาณ 500 B.U. (Brabender unit) หรือมากกว่านั้น แต่สำหรับความหนืดของ CSM ในลักษณะที่เป็นเครื่องดื่มควรจะมีค่าประมาณ 150 B.U. (20)

ผลิตภัณฑ์ CSM นอกจากจะใช้กินในรูปของเครื่องดื่ม (beverage) ของเหลวข้น (gruel) แล้วอาจใช้เป็นอาหารร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกด้วย เช่น ขนมปัง crackers stews เป็นต้น (19)

จากผลการทดสอบด้านการยอมรับในการบริโภค โดยนำ CSM มาทำให้สุกโดยต้มในน้ำเดือด 1 นาที และให้คะแนนในเรื่องกลิ่นรส โดยคะแนน 10 ชอบมากที่สุด และ 1 ชอบน้อยที่สุด พบว่าคะแนนการยอมรับในเรื่อง กลิ่นรส ได้ $\geqslant 6$ (19) นอกจากนี้ยังมีการทดสอบ CSM ชนิดที่มีรสหวาน, ชนิดจืด และชนิดที่เติมกลิ่นกับชนิดที่ไม่เติมกลิ่น การทดสอบได้จัดทำขึ้นในชนบทของประเทศอินเดีย พบว่า CSM ชนิดที่ผู้ชิมชอบมากที่สุดคือ ชนิดหวานไม่เติมกลิ่น รองลงมาคือ CSM ชนิดหวานเติมกลิ่น ส่วนชนิดจืดได้คะแนนต่ำมากทั้งในด้านรสชาต และเนื้อสัมผัส และสำหรับผลการเปรียบเทียบชนิดที่เติมกลิ่น ซึ่งได้แก่ แอลมอนด์ (almond) กล้วย คาร์คามอม (cardamom) ชอคโกเลท, มะนาว, ส้ม และวานิลา ปรากฏว่า ผู้ใหญ่ชอบกลิ่นแอลมอนด์มากที่สุด นอกจากนี้รองลงมาคือ กลิ่นส้ม และวานิลา สำหรับเด็กปรากฏว่าชอบทุกกลิ่น (22)

CSM และ CSB เกือบทั้งหมด เป็นสินค้าที่ส่งขายต่างประเทศผ่าน PL 480 (U.S.Food for Peace program) และ U.S. Agency for International Development Programs (6) ในปี 1966 กระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (U.S.D.A.) เริ่มมีการซื้อ CSM เพื่อจัดส่งไปยังประเทศกำลังพัฒนามากกว่า 90 ประเทศ ตามโครงการของ PL 480 ปริมาณ CSM ที่มีการซื้อขายกันในปีนั้นมากกว่า 800 ล้านปอนด์ ในราคาที่ถูกคือต่ำกว่า 8 เซนต์ต่อปอนด์ (19)

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพด

ข้าวโพดจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ (breeding) สภาพภูมิอากาศ สภาพการเพาะปลูก (23) และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอายุ (maturity) ของข้าวโพดอีกด้วย (24)

ข้าวโพดที่มีอายุมากขึ้น เปอร์เซนต์ของโปรตีน, เส้นใย และเถ้าจะลดลงในขณะที่เปอร์เซนต์ของแข็งทั้งหมด ไขมัน และ แป้ง เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง) ของข้าวโพดที่มีอายุต่าง ๆ กัน (24)

อายุของข้าวโพดนับจากวันปลูก / องค์ประกอบทางเคมี	Early milk (84 วัน)	Early dough (95 วัน)	Mid-dent (109 วัน)	Mature (145 วัน)
ของแข็งทั้งหมด	20.9	35.7	55.5	76.6
โปรตีน	16.6	12.5	10.7	10.9
ไขมัน	3.0	4.0	4.8	4.9
เส้นใย	5.4	3.3	2.5	2.1
เถ้า	2.8	2.3	1.7	1.5
แป้ง	47.4	55.0	58.7	63.7

สำหรับการกระจายของส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในโครงสร้างของเมล็ดข้าวโพดจะแตกต่างกันออกไป ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกระจายของส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเมล็ดข้าวโพด (เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนักแห้ง) (25)

Fraction	Endosperm	Embryo	Pericarp	Tip cap
kernel	82.1	11.6	5.5	0.8
protein	73.1	23.9	2.2	0.8
lipid	15.0	83.2	1.2	0.6
sugar	28.2	70.0	1.1	0.7
starch	98.0	1.3	0.6	0.1
ash	18.2	78.5	2.5	0.8

2.4.1 โปรตีน (protein) และกรดอมิโน (amino acid)

ปริมาณของโปรตีน (protein quantity)

ปริมาณของโปรตีนในข้าวโพดอาจมีได้ตั้งแต่ 5-19 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น (23,26) แต่โดยทั่วไปแล้วเมล็ดข้าวโพดจะมีโปรตีนประมาณ 10 เปอร์เซนต์ของเมล็ดทั้งหมด (27)

โปรตีนในเมล็ดข้าวโพดอาจแบ่งตามความสามารถในการละลายได้เป็น 4 ชนิด และ แต่ละชนิดมีปริมาณที่แตกต่างกัน ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณและชนิดของโปรตีนในเมล็ดข้าวโพด แบ่งตามความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ (28)

ชนิดของโปรตีน	ชนิดของตัวทำละลาย	ปริมาณ (% ของโปรตีน)
โกลบูลิน (Globulin)	เกลือ หรือ กรด	25
เซอิน หรือ โพลามิน (Zein or Polarmins)	แอลกอฮอล	48
กลูเทลลิน (Glutelins)	ด่าง	25
สเคลอโรโปรตีน (Sclereprotein)	ไม่ละลายในสารละลายต่าง ๆ	2

กรดอะมิโน (amino acid)

กรดอะมิโนในข้าวโพดพันธุ์ทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ FAO/WHO 1973 (ตารางที่ 26 ภาคผนวก ก) พบว่าข้าวโพดขาดแคลน lysine และ tryptophan คือ มี chemical score เท่ากับ 29 และ 30 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาณของโปรตีนในข้าวโพดสูงขึ้น ปริมาณของกรดอะมิโนทั้งหมดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนแต่ละตัวจะแตกต่างกันอย่างมาก (26) คือ

- เปอร์เซนต์ของกรดอะมิโน เปรียบเทียบกับโปรตีนทั้งหมด เพิ่มขึ้น เมื่อโปรตีนในข้าวโพดสูงขึ้น ได้แก่ leucine, alanine, phenylalanine และ proline

- เปอร์เซนต์ของกรดอะมิโน เปรียบเทียบกับโปรตีนทั้งหมดที่ลดลง เมื่อเปอร์เซนต์โปรตีนในข้าวโพดสูงขึ้น ได้แก่ arginine, glycine, lysine, tryptophan, threonine และ valine

- เปอร์เซนต์ของกรดอะมิโน เปรียบเทียบกับโปรตีนทั้งหมด ที่ยังคงที่ เมื่อเปอร์เซนต์โปรตีนในข้าวโพดสูงขึ้น ได้แก่ isoleucine, cystine, histidine, methionine, serine, tyrosine, aspartic acid และ glutamic acid

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวโพดมีอายุมากขึ้น คุณภาพของข้าวโพดจะด้อยกว่าอายุน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก lysine และ tryptophan ซึ่งเป็น limiting essential amino acid ของข้าวโพดลดลงนั่นเอง (29)

คุณภาพของโปรตีน (protein quality) ของข้าวโพด

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าโปรตีนในข้าวโพดมี zein ในปริมาณสูง และเนื่องจาก zein มี lysine และ tryptophan ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นในปริมาณที่ต่ำ จึงเป็นเหตุให้คุณภาพโปรตีนของข้าวโพดต่ำ (5,26) การที่ข้าวโพดมีกรดอะมิโนจำเป็นเพียงตัวเดียวหรือหลายตัวในปริมาณที่ต่ำแล้วมีผลทำให้คุณภาพของโปรตีนต่ำลงไปนี้ อาจจะอธิบายได้ว่า การขาดกรดอะมิโนจำเป็นเพียงตัวเดียวจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายลดน้อยลงไป และจะมีผลทำให้ไนโตรเจนจากกรดอะมิโนตัวอื่น ๆ ถูกขับออกจากร่างกายในรูปของยูเรีย (urea) (30)

ดังนั้นถ้ามีการเสริม (supplement) โปรตีนในข้าวโพดด้วย lysine และ tryptophan แล้วจะทำให้ได้โปรตีนที่มี PER สูงขึ้น และนอกจากนี้ biological value จะสูงขึ้นในระดับที่พอ ๆ กับ biological value ของเนื้อ (23)

การสกัดโปรตีนจากข้าวโพด

จากรายงานการศึกษาเรื่อง โปรตีนจากข้าวโพดหลายฉบับ (31,32,33,34) ได้ผลสรุปว่า การที่แป้งข้าวโพดเกาะติดอยู่ในตาข่าย (matrix) ของ disulfide crosslinked protein จึงเป็นสาเหตุทำให้การสกัดโปรตีนจากข้าวโพดทำได้ยาก สำหรับการทำลายตาข่ายดังกล่าวนี้ออกจากกันเพื่อทำให้ส่วนของแป้งและโปรตีนแยกออกจากกันนี้ทำได้โดยการนำเมล็ดข้าวโพดมาแช่ในสารละลายของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งวิธีนี้เป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งโดยขบวนการ wet milling อย่างไรก็ตามการใช้ด่างก็สามารถทำให้ส่วนของ matrix ดังกล่าวละลายได้ และการใช้กระบวนการสกัดด้วยด่างนี้จะทำให้ได้โปรตีนจากข้าวโพด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าที่ได้จากขบวนการ wet milling (35)

2.4.2 Lipids

เมล็ดข้าวโพดทั่วไปจะมีน้ำมันประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และประมาณ 85

เปอร์เซนต์ของน้ำมันทั้งหมดจะมาจากส่วนของ germ (27)

ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำมันข้าวโพดคือ triglycerides ของ fatty acids น้ำมันจากข้าวโพดต่างชนิดกันจะมีส่วนประกอบของ fatty acid แตกต่างกันออกไป โดยส่วนประกอบหลักเป็น essential fatty acid ที่สำคัญได้แก่ linoleic acid ซึ่งมีประมาณ 56 เปอร์เซนต์ ของ fatty acid ทั้งหมด (27,36)

สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันจากข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว 80.62 เปอร์เซนต์ ซึ่งประกอบด้วย กรดลิโนเลอิค (linoleic acid) 46.87 เปอร์เซนต์ กรดโอเลอิค (oleic acid) 32.57 เปอร์เซนต์ และกรดลิโนเลนิค (linolenic acid) 1.18 เปอร์เซนต์ ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวมี 19.38 เปอร์เซนต์ จะประกอบด้วย กรดพาลมิติค (palmetic acid) 15.85 เปอร์เซนต์ กรดสเตียริค (stearic acid) 2.66 เปอร์เซนต์ และอื่น ๆ (จำนวนคาร์บอนมากกว่า 8) 0.81 เปอร์เซนต์ (15)

การที่น้ำมันในเมล็ดข้าวโพดมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณสูงนี้ จัดว่าเป็นน้ำมันที่มีประโยชน์มากชนิดหนึ่ง เนื่องจากกรดไขมันเหล่านี้ร่างกายมีความต้องการในปริมาณสูง และมักไม่เกิดการสะสมในร่างกายมนุษย์เหมือนกรดไขมันอิ่มตัว อย่างไรก็ตามความคงตัวของน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดจะน้อยกว่าน้ำมันจากสัตว์ เนื่องจากการเกิด oxidative rancidity ส่วนมากเกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว (38)

2.4.3 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

ส่วนประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดข้าวโพดคือแป้ง (starch) ซึ่งมีประมาณ 72 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักแห้ง รองลงมาก็คือ free sugars (27)

แป้งข้าวโพดประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ อมิโลส (amylose) และ อมิโลเพคติน (amylopectin) โมเลกุลของทั้ง 2 เป็น โพลิเมอร์ของกลูโคส (27)

แป้งข้าวโพดมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำเย็น และเมื่อตั้งทิ้งไว้จะตกตะกอนแยกชั้น แต่เมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้นเรื่อย ๆ จะได้ starch suspension ที่มีความหนืดสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนกับ starch suspension นาน ๆ ก็ไม่ได้ทำให้

แป้งเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ การละลายจะเกิดขึ้นได้เมื่อให้พลังงานในระดับสูง เช่นการ autoclave โดยใช้ starch suspension ที่เจือจาง สำหรับแป้งที่มี linear fraction(amylose) สูงจะไม่เกิดการละลายแม้จะใช้พลังงานในระดับสูงก็ตาม การให้ความร้อนจนเกิดการ break down ของเม็ดแป้ง และความหนืดของ starch suspension ลดลงนี้เมื่อนำมาทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องจะทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้นอีกได้ กระบวนการที่แป้งซึ่งละลายกลับมาอยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำนี้เรียกว่าเกิด retrogradation อย่างไรก็ตามเม็ดแป้งที่ไม่มีอมิโลสจะมีการเพิ่มความหนืดน้อย เนื่องจากไม่เกิด retrogradation(39)

น้ำตาลในข้าวโพด

น้ำตาลที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวโพด โดยทั่วไปจะมีในปริมาณ 1-3 เปอร์เซนต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น sucrose soluble sugar จะมีปริมาณสูงในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวโพด ปริมาณของน้ำตาลจะลดต่ำลง เรื่อย ๆ เมื่อความสุกสูงขึ้นจนกระทั่งเกือบจะคงที่ตอนสุกจัด (40,41) สำหรับข้าวโพดหวานพิเศษ (super sweet corn) จะมีน้ำตาลปริมาณสูง ค่าเปอร์เซนต์ความหวานที่อ่านได้โดยใช้เครื่องวัดความหวาน (Refractometer) มีค่าประมาณ 10-13 เปอร์เซนต์ (4,41)

น้ำตาลในเมล็ดข้าวโพดจะเปลี่ยนสภาพเป็นแป้งได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน การลดลงของความหวานในข้าวโพดจะเกิดขึ้นเร็วมาก ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ความหวานจะลดลง 30-40 เปอร์เซนต์ เพราะอากาศร้อน (4) แต่โดยทั่วไป แล้วข้าวโพดหวานพิเศษ เมื่อเก็บจากต้นความหวานจะสูงกว่าและอยู่ได้นานกว่าข้าวโพดปกติ คือประมาณ 2-3 วัน เนื่องจากข้าวโพดหวานพิเศษมีคุณลักษณะทางกรรมพันธุ์อย่างหนึ่ง ซึ่งถูกควบคุมโดย ยีน sugary-1 และ shruken ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงน้ำตาลภายในเมล็ดให้กลายเป็นแป้งได้เมื่อแก่ขึ้น ข้าวโพดจะมีรสหวานจัด และมีความหวานอยู่ได้นานขึ้น แต่เมล็ดแก่ก็ยิ่งเหี่ยวย่นมากขึ้นด้วย (41)

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการวัดคุณภาพของข้าวโพดหวาน ก็คือ ความหวาน (ปริมาณน้ำตาล) ดังนั้นจึงต้องทำให้การสูญเสียของน้ำตาลเกิดขึ้นน้อยที่สุด ฉะนั้นหลังการเก็บเกี่ยวจากต้นจะต้องเคลื่อนย้ายข้าวโพดทันทีเพื่อลดการสูญเสียเนื่องมาจากการหายใจและต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อลดการสูญเสีย nutrient ในระหว่างการเก็บอีกด้วย (42)

007666

2.5 การลวกข้าวโพด

การเก็บข้าวโพดสดในสภาพแช่เย็น หรือ ข้าวโพดที่ผ่านการลวกไม่ทั่วถึง (under-blanch) เป็นระยะเวลานานจะมีผลทำให้คุณภาพของข้าวโพดเสื่อมลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพนี้ สาเหตุใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากมี กลิ่นรส ที่ผิดปกติไป (off-flavor) (43) การเกิด off flavor นี้เนื่องมาจากการทำงานของเอ็นไซม์มีเอ็นไซม์หลายอย่างที่ถูกเสนอว่าเป็นตัวสาเหตุของการเกิด off flavor ในข้าวโพดแช่เย็งที่สำคัญคือ peroxidase peroxidase เป็นเอ็นไซม์ที่มี stability ต่อความร้อนสูงกว่าเอ็นไซม์ตัวอื่น ๆ เป็นส่วนใหญ่ และนอกจากนี้ peroxidase ยังง่ายต่อการตรวจสอบอีกด้วย ดังนั้น peroxidase activity จึงถูกใช้เป็น biochemical index ในการควบคุมคุณภาพในกระบวนการลวก (blanching) กันอย่างกว้างขวาง (44,45,46)

จากการศึกษาของ Dietrich และผู้ร่วมงาน (47) ซึ่งได้ทดลองลวกข้าวโพด โดยใช้ความร้อนจาก microwave ไอน้ำ และน้ำร้อน เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ peroxidase พบว่า การใช้ความร้อนจากเตา microwave 6 นาที จะสามารถหยุดยั้งปฏิกิริยาของ เอ็นไซม์ peroxidase ได้อย่างสมบูรณ์ แต่จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) ขึ้น ส่วนการใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนโดยใช้เวลา 8-12 นาที พบว่ามี peroxidase เหลืออยู่บริเวณฐานของเมล็ดและบริเวณแกนบ้างเล็กน้อย ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิด off-flavor ได้ นอกจากนี้ Yamamoto และผู้ร่วมงาน (44) ได้ศึกษา kinetic ของ peroxidase ใน ข้าวโพดหวานทั้งฝัก พบว่าข้าวโพดหวานมี heat stable peroxidase ประมาณ 5 เปอร์เซนต์ ของทั้งหมด ที่เหลือเป็น heat labile peroxidase

ผลของการลวกที่มีต่อโปรตีนในข้าวโพด

มีโปรตีนหลายชนิดที่สูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และสามารถละลายใน aqueous media ได้น้อยลงอย่างมาก เมื่อโปรตีนเหล่านั้นได้รับความร้อนภายใต้สภาวะที่มีความชื้น สำหรับโปรตีนจากเมล็ดพืชหลายชนิดจะแตกต่างจากโปรตีนจากสัตว์อย่างมาก คือ โปรตีนจากพืชมักจะเกิด coagulate ไม่สมบูรณ์เมื่อได้รับความร้อน แม้จะโดยวิธีการต้ม (boiling) และโปรตีนจากพืชหลายชนิดไม่เกิด coagulate ภายใต้สภาวะดังกล่าว (48)

Pukrushpan และคณะ (49) ได้ศึกษาผลของการลวกที่มีต่อโปรตีนในข้าวโพดหวาน และสรุปผลว่า

- การ blanching ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญสำหรับ total protein, alkaline soluble protein และ free amino acid

- แต่การ blanching จะมีผลทำให้ปริมาณของ salt soluble protein (Globulin) และ alcohol soluble protein(zein) ลดลงอย่างมากคือจาก 4.6 เปอร์เซนต์ เป็น 2.0 เปอร์เซนต์ และจาก 3.5 เปอร์เซนต์ เป็น 2.4 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

- สำหรับ Insoluble protein นั้นพบว่าหลัง blanching จะเพิ่มขึ้นอย่างมากคือ จาก 0.7 เปอร์เซนต์ เป็น 4.5 เปอร์เซนต์

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างการ blanching จะแปรผันไปขึ้นกับพันธุ์ของข้าวโพด และ stage of maturity ดังนั้นจะเห็นได้ว่า soluble protein content อาจมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปของข้าวโพดหวาน ซึ่งลักษณะบางอย่างอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ เช่น การเกิด curding ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ ข้าวโพดครีม (cream style corn) ซึ่งสาเหตุเนื่องมาจากการ blanching มีผลต่อการละลายโปรตีนในข้าวโพดนั่นเอง (50)

2.6 การใช้ stabilizer ในผลิตภัณฑ์นมข้าวโพด

ในการผลิตนมข้าวโพดมีปัญหาเนื่องมาจากมีการตกตะกอนแยกชั้นเกิดขึ้น จึงได้ทดลองนำ stabilizer มาใช้ในนมข้าวโพด ในการทดลองนี้เลือกใช้ คาราจิแนน (carrageenan) เป็น stabilizer ทั้งนี้เนื่องจาก คาราจิแนน นิยมใช้กันมากในนม ผลิตภัณฑ์นม หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ stabilize โปรตีน และนอกจากนี้ คาราจิแนน ยังถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น นำไปใช้เพื่อให้น้ำผลไม้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้น ในน้ำมะเขือเทศและน้ำมะนาว เป็นต้น (51)

ในการทดลองนี้เลือกใช้ คาราจิแนน จึงจะขอกล่าวเฉพาะคุณสมบัติของคาราจิแนนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

คาราจิแนน เป็น polysaccharides ซึ่งมี D-galactose เป็นองค์ประกอบสำคัญ และนอกจากนี้ยังมี sulfate group เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคาราจิแนนอีกด้วย คาราจิแนนมี 3 ชนิดคือ Kappa, Iota และ Lambda (52)

คาราจิแนน เป็น strongly charged anionic polyelectrolyte จึงทำให้มีคุณสมบัติที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคของ โมเลกุลอื่นที่มีขนาดใดก็ได้โดยการเกิด ionic bond,hydrogen bond หรือ van der waals forces ได้ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) ที่อยู่ตัว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ทำให้นำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวาง (51)

คุณสมบัติของคาราจิแนนในการทำปฏิกิริยากับโปรตีน

สำหรับ protein reactivity ของ คาราจิแนน นั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของ sulfate group และปริมาณของ 3,6-anhydro-D-galactose ซึ่งเป็นองค์ประกอบใน คาราจิแนน และนอกจากนี้ คาราจิแนนจะสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้มากหรือน้อยนั้นจะขึ้นกับ ความเข้มข้นของคาราจิแนน ชนิดของโปรตีน อุณหภูมิ pH และ isoelectric point ของโปรตีน (51,52)

การที่ คาราจิแนนเป็น sulphated galactan จึงทำให้ คาราจิแนนมีประจุเป็นลบโดยไม่ขึ้นกับ pH ของ medium ในขณะที่ประจุรวม (net charge) ของโปรตีนจะขึ้นกับ pH อย่างมาก สำหรับที่ pH สูงกว่า isoelectric point โปรตีนจะมีประจุรวม (net charge) เป็นลบ ดังนั้นจึงเกิดแรงผลักกับประจุของคาราจิแนน จึงทำให้เกิดสารประกอบที่อยู่ตัว ดังนั้น คาราจิแนนจึงสามารถ stabilize โมเลกุลของ โปรตีนไว้ได้ คุณสมบัติดังกล่าวนี้ คาราจิแนนจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง (51)

สำหรับปริมาณของคาราจิแนนที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารตามข้อกำหนดของ FAO/WHO (Codex) นั้น กำหนดให้ปริมาณ 0-75 มิลลิกรัม ของคาราจิแนน ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวต่อวัน (acceptable Daily Intake expressed as body weight) (53)