บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ในปี 1895 Bircher-Benner แพทย์ชาวสวิสเป็นผู้พัฒนาอาหารแบบ complete diet สำหรับคนไข้ที่คลินิคใน Zurich โดยผสม coarse grains กับผลไม้ (soft fruits) และให้ชื่อในภาษาอิตาเลียน-สวิสว่า "muesli" ซึ่งได้รับความนิยมอย่างรวดเร็วและกว้างขวางทั่วไปในยุโรปและสแกนดิเนเวีย ประมาณปี 1940 มีการผลิตมูสลีเป็นอุตสาหกรรม โดยผสมธัญชาติ ถั่ว และผลไม้แห้งเพื่อลด water activity ทำให้เก็บได้นาน (Greenfield, Lee and Wills, 1981) ในปัจจุบันนี้มีการผลิตมูสลีผลิตออกมาหลายรูปแบบ เช่น ปี 1986 ในงาน ANUGA World Food Trade Fair ที่เมือง Cologne ประเทศเยอรมันตะวันตกมีการแนะนำผลิตภัณฑ์มูสลีรูปแบบใหม่ถึง 500 ประเภท (Payne, 1987)

<u>วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมูสลี</u>

การคัดเลือกวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปสำหรับผลิตภัณฑ์นี้ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการด้วยกันดังต่อไปนี้

1. คุณค่าทางโภชนาการ การคัดเลือกวัตถุดิบแต่ละชนิดต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการ ในการคัดเลือกได้แบ่งกลุ่มของวัตถุดิบดังนี้ (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531)

   1.1 แหล่งของคาร์โบไฮเดรตและใยอาหาร ได้แก่ ธัญชาติ เช่น ข้าว ข้าวโพด และลูกเดือย

   1.2 แหล่งของโปรตีน ได้แก่ ถั่ว เช่น ถั่วเขียว และถั่วแดง

   1.3 แหล่งของไขมัน ได้แก่ เมล็ดพืชน้ำมัน เช่น มะพร้าว เมล็ดงา และเมล็ดทานตะวัน

   1.4 แหล่งของวิตามินและแร่ธาตุ ได้แก่ผลไม้ เช่น สับปะรด มะละกอ และกล้วย

2. การยอมรับ กลุ่มของวัตถุดิบที่เลือกใช้จะเป็นอาหารที่คนไทยคุ้นเคยและบริโภคทั่วไป ผลิตได้ภายในประเทศ หาได้ง่ายในปริมาณมาก ราคาไม่แพงและรสชาติดี

3. ความเหมาะสมในการแปรรูป เนื่องจากลักษณะผลิตภัณฑ์เป็นอาหารที่มีความชื้นต่ำ (Greenfield et al., 1981) ดังนั้นการเลือกวัตถุดิบมาใช้ควรคำนึงถึงความเหมาะสมในการแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ สี และลักษณะปรากฏที่ดี

<u>กระบวนการแปรรูปสำหรับผลิตภัณฑ์</u>

ในกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบ มีการให้ความร้อนเพื่อเจลาติไนซ์แป้ง เปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส ทำให้กลิ่นและรสดีขึ้น นอกจากนั้นความร้อนในระดับที่เหมาะสมจะยับยั้งเอนไซม์บางชนิดที่มีอยู่ในอาหารซึ่งมีผลต่อการเก็บ เพิ่มความสามารถในการนำโปรตีนจากถั่วไปใช้ ทำลายสารพิษ (toxic substances)(Charley, 1982) ที่มีอยู่ในอาหารบางชนิด เช่น trypsin inhibitor และ lectins ในถั่ว และลดจำนวนจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ สำหรับในงานวิจัยนี้ศึกษาการแปรรูปวัตถุดิบด้วยวิธีการดังนี้

1. การอบแห้ง เป็นกระบวนการแปรรูปเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทำให้เก็บได้เป็นเวลานาน แต่ก่อนอบต้องมีการให้ความร้อน เพื่อทำลายเอนไซม์บางชนิดในวัตถุดิบ และทำให้วัตถุดิบบางชนิดสุกเพื่อความเหมาะสมในการบริโภคและเก็บรักษา อุณหภูมิที่อบแห้งอยู่ในช่วงกว้างขึ้นกับการเลือกใช้ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิต่ำผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีน้อยที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงเพราะต้องใช้เวลาอบนาน นอกจากนั้นจุลินทรีย์อาจเจริญได้ถ้าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4-40°C เพื่อลดเวลาการอบและยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จึงอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 40°C ถึงแม้ว่าจะมีผลให้สูญเสียสารอาหารมากขึ้น (Karmas and Harris, 1988) และใช้ลมร้อนช่วยเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การคั่ว เป็นกระบวนการที่ช่วยให้วัตถุดิบสุกและมีความชื้นต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและลักษณะเฉพาะตัว ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และเป็นกระบวนการที่ใช้อยู่ทั่วไป นอกจากนั้นการคั่วจะทำให้ phytic acid ลดลงไปได้มากกว่าการต้มและนึ่ง (ทรงศักดิ์ ศรีอนุชาต, 2534)

3. การ puff เป็นกระบวนการที่ทำให้วัตถุดิบขยายตัวจากการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วขณะสัมผัสกับอุณหภูมิสูง หรือการลดลงอย่างทันทีของความดัน (Antonio and Julliano, 1973; Guraya and Toledo, 1994) ในงานวิจัยนี้สนใจการทำ puffed whole grains โดย hot-air puffing ซึ่งมีหลักการดังนี้ (Fast, 1990; Tribelhorn, 1990)

3.1 นำเมล็ดธัญชาติ หรือถั่วมาแช่น้ำเพื่อย่นระยะเวลาการทำให้สุก นอกจากนั้นการแช่น้ำจะทำให้เกิด autolysis ของ phytic acid จึงเพิ่มความสามารถในการนำโปรตีน และเกลือแร่บางชนิดไปใช้ (Charley, 1982)

3.2 ให้ความร้อนเพื่อเจลาติไนซ์แป้ง เปลี่ยนสภาพของโปรตีน ทำลายเอนไซม์และสารพิษ (Charley, 1982)

3.3 นำมา puff โดย fluidized bed drier (Tribelhorn, 1990) ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้วัตถุดิบพองตัว

3.4 อบเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ทำให้เก็บได้นาน (Karmas and Harris, 1988)

<u>คุณค่าทางโภชนาการ</u>

ธัญชาติเป็นแหล่งของวิตามินบีรวมและแร่ธาตุ เช่น เหล็ก แมกนีเซียมและทองแดง เมื่อนำมาผลิตเป็นอาหารเช้า สารอาหารบางอย่างสูญเสียไปเนื่องจากกระบวนการผลิต เช่น วิตามินบี1 (thiamine) ดังนั้นอาหารเช้าสำเร็จรูปส่วนใหญ่จึงมีการเติมวิตามินและแร่ธาตุเพื่อทดแทนสารอาหารที่สูญเสียไปและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในการเติมมีหลายระดับด้วยกัน แต่ส่วนใหญ่จะเติมในระดับที่เมื่อรับประทานร่วมกับนมในปริมาณที่กำหนดจะทำให้ได้รับวิตามิน และแร่ธาตุ 25 % ของข้อกำหนดสารอาหารที่ควร

ได้รับประจำวัน (Recommended Daily Allowances; RDA) (Nesheim and Lockhart, 1990) แต่การเติมสารอาหารควรคำนึงถึง ความต้องการสารอาหารที่แตกต่างกันของแต่ละคน เนื่องจากอายุ เพศ และกิจกรรมที่ทำ การเติมสารอาหารลงในอาหารบางชนิดอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของสารอาหาร จากการได้รับสารอาหารบางชนิดต่ำกว่าปริมาณที่ร่างกายต้องการ และบางชนิดสูงจนเกิดผลเสียต่อร่างกาย ดังนั้นอาหารที่มีการเติมสารอาหารจึงควรพิจารณาปริมาณที่เติมจากสมดุลของพลังงาน วิตามิน แร่ธาตุและโปรตีนร่วมกัน (Graf and Saguy, 1981) สำหรับงานวิจัยนี้ไม่พิจารณาถึงการเติมวิตามินและแร่ธาตุ เนื่องจากมูสลีเป็นเพียงอาหารมื้อหนึ่งเท่านั้น ถ้ามีปริมาณสารอาหารบางชนิดไม่สมดุลเกิดขึ้น เมื่อรับประทานอาหารชนิดอื่นในมื้ออื่นก็อาจช่วยให้เกิดความสมดุลขึ้นได้ ทั้งนี้ขึ้นกับพฤติกรรมการบริโภคซึ่งมีความแตกต่างกันมากในแต่ละคน และงานวิจัยในประเทศก็มีข้อมูลไม่เพียงพอ ที่จะสรุปว่าประชากรได้รับสารอาหารชนิดใดไม่สมดุลจนก่อให้เกิดโทษ และควรเติมสารอาหารชนิดใดลงในอาหารปริมาณเท่าใด เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคบังคับไม่ได้ นอกจากนั้นแล้วมูสลีเป็นอาหารที่ผ่านการแปรรูปน้อย คุณค่าทางโภชนาการตามธรรมชาติน่าจะสูญเสียไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้ามีการสร้างส่วนผสม โดยผสมวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของสารอาหารต่างกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วก็อาจทำให้ได้รับคุณค่าทางโภชนาการที่สมดุลได้

<u>การศึกษาส่วนผสมอาหาร โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง (linear programming)</u>

(ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2530)

เป็นวิธีการเชิงปริมาณ ใช้หลักทางคณิตศาสตร์สร้างส่วนผสมอาหารเพื่อให้ได้คุณค่าทางโภชนาการตามที่ต้องการ แต่มีราคาต่ำสุด หลักการในการเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของโปรแกรมมี 3 องค์ประกอบ ได้แก่

1. ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ (decision theory) ได้แก่ตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องการทราบค่า และถูกกำหนดขึ้นภายใต้เงื่อนไขในการหาส่วนผสมอาหาร ซึ่งก็คือปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ต้องการในส่วนผสม

2. เงื่อนไขหรือข้อจำกัด (constraints) ได้แก่ข้อจำกัดใด ๆ ในการสร้างส่วนผสม อาจเป็นข้อจำกัดทางกฎหมาย ข้อจำกัดทางเทคโนโลยี หรือข้อจำกัดทางคุณค่าทางโภชนาการ เงื่อนไขต่าง ๆ กำหนดขึ้นในลักษณะของสมการเชิงเส้นตรง ซึ่งแสดงโดยเครื่องหมาย >, < หรือ = ทางเลือกที่อยู่ในขอบเขตของข้อจำกัดถือว่าเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ (feasible solution)

3. ฟังก์ชันเป้าหมาย (objective function) เป็นเป้าหมายหลักของโปรแกรม เขียนในรูปของฟังก์ชันเชิงเส้นตรง (linear function) ฟังก์ชันเป้าหมายนี้จะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขในการสร้างส่วนผสมอาหาร โดยทั่วไปจะเขียนในรูปของสมการแสดงราคาส่วนผสม

การศึกษาส่วนผสมอาหารทำโดย สร้างสมการฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อกำหนดค่าต่ำสุด จากนั้นสร้างสมการเงื่อนไขแสดงความสัมพันธ์ของสารอาหารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป นำสมการทั้งหมดมาหาผลลัพธ์ โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง จะได้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ซึ่งเป็นส่วนผสมที่เหมาะสม มีคุณค่าทางโภชนาการตามต้องการและราคาถูกที่สุด

<u>บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์</u>

หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ คือ ให้การป้องกันผลิตภัณฑ์ เป็นตัวชี้แสดงผลิตภัณฑ์และดึงดูดผู้บริโภค สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะในส่วนของการป้องกันซึ่งเริ่มตั้งแต่ใส่ผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุจนกระทั่งบริโภคหมด บรรจุภัณฑ์ต้องป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงความชื้น การปนเปื้อนของกลิ่น และสามารถช่วยป้องกันการสูญเสียและเปลี่ยนแปลงรสชาติโดยเฉพาะกลิ่นรสของธัญชาติ (Monahan and Caldwell, 1990)

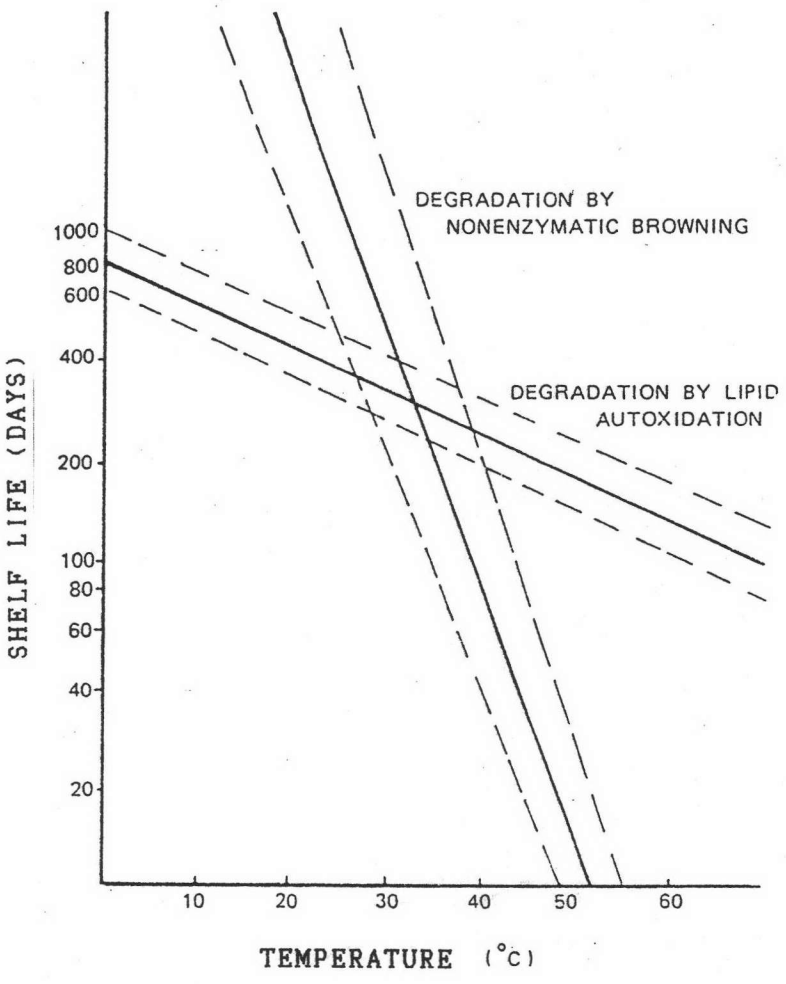
บรรจุภัณฑ์ทางการค้ามักใช้กล่องกระดาษที่ออกแบบอย่างสวยงาม ซึ่งจะต้องแข็งแรงและทนแรงกด เพื่อป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การบรรจุจนกระทั่งถึงผู้บริโภค ความแข็งแรงของกล่องช่วยให้กล่องไม่ป่องพองตรงกลางจากการใส่ผลิตภัณฑ์ไม่เต็ม ทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดว่าใส่ผลิตภัณฑ์น้อยกว่าที่ระบุไว้ ชั้นในปัจจุบันนิยมใช้

ฟิล์มพลาสติก โดยเฉพาะ high density polyethylene(HDPE) เนื่องจากราคาถูก (Monahan and Caldwell, 1990) แต่สำหรับการบรรจุขนาดรับประทานครั้งเดียว มักใช้ laminated foil ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกบรรจุภัณฑ์เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา 2 ชนิด คือฟิล์มพลาสติกและ laminated foil

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปมีความชื้นต่ำประมาณ 2-8 % การเสื่อมเสียจึงไม่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (Paine and Paine, 1992) สาเหตุที่ทำให้อาหารเช้าสำเร็จรูปเสื่อมเสียมาจากการสัมผัสกับบรรยากาศที่มีไอน้ำและออกซิเจน ไอน้ำจะทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง และค่า water activity เพิ่มขึ้น ค่า water activity มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา Maillard การ hydrolysis และ oxidation ของไขมัน โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้นเมื่อค่า water activity สูงหรือต่ำกว่า 0.2-0.3 ซึ่งเป็นระดับที่โมเลกุลของน้ำเรียงตัวเป็นชั้นเดียว (monolayer) ที่ผิวของอาหารซึ่งสัมผัสกับอากาศที่มีออกซิเจน(Labuza, 1971 quoted in Borenstein et al., 1990; Borenstein et al., 1990) ส่วนความชื้นของอาหารมีความสัมพันธ์กับ water activity จึงมีผลต่อการเสื่อมเสียเช่นเดียวกัน (Salwin, 1959 quoted in Borenstein et al., 1990)

การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ อาจใช้วิธีเก็บในภาวะที่ใกล้เคียงกับการจำหน่ายแต่ในอาหารบางชนิดต้องใช้เวลานานจึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงถึงจุดที่ไม่ยอมรับ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมมีข้อจำกัดเรื่องเวลาทำให้ไม่สามารถรอได้ (Borenstein et al., 1990) การศึกษาอายุการเก็บโดยใช้ภาวะเร่ง (accelerated shelf life testing) ช่วยให้สามารถทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ในเวลาสั้นลง แต่มีข้อเสียคือความแม่นยำของการทำนายจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ และความแตกต่างของปัจจัยนั้นในภาวะที่ทดสอบกับภาวะการวางขาย เช่น อุณหภูมิที่สูงกว่า 35°C การเกิด nonenzymatic browning มีแนวโน้มสูงกว่า oxidation ของไขมัน แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 °C จะเป็นไปในทางตรงกันข้าม ทำให้จุดวิกฤตของอายุการเก็บเกิดจากปฏิกิริยาที่ต่างกัน (Labuza, 1985; Borenstein et al., 1990) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อายุการเก็บของมันฝรั่งอบกับการเสื่อมคุณภาพจาก nonenzymatic browning และ oxidation (Labuza, 1985)

การประมาณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ใช้จลศาสตร์ (kinetics) เข้ามาเกี่ยวข้องโดยอาศัย shelf life plot ซึ่งมีอิทธิพลเช่นเดียวกับ Arrhenius plot ในการคำนวณค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย ค่าคงที่ที่ได้เมื่อนำไปใช้จะมีความแม่นยำเพียงใดขึ้นกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าคงที่ และความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ทำนายและที่ทำการทดลอง (Labuza, 1985) อย่างไรก็ตามไม่สามารถหาอายุการเก็บที่แน่นอนของผลิตภัณฑ์ได้ เพราะในทางปฏิบัติผลิตภัณฑ์จะถูกจำหน่ายออกไปในที่ต่างกัน ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันและในแต่ละช่วงเวลาสิ่งแวดล้อมก็มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ จนอาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์แต่ละห่อมีอายุการเก็บที่ต่างกัน (Borenstein et al., 1990) ในงานวิจัยนี้จึงประมาณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้อุณหภูมิเป็นตัวเร่งเพื่อลดระยะเวลาการทดลอง