

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 เอ็กซ์ทรูชัน

2.1.1 นิยาม

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้อยู่ในเครื่องเพียงเครื่องเดียว เป็นเทคนิคแปรรูปอาหารในระดับอุตสาหกรรม ที่ทำให้ส่วนผสมของวัตถุดิบสุกจนได้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูป เทคโนโลยีอันทันสมัยของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ สามารถที่จะนำไปใช้เมื่อต้องการผลิตอาหารให้มีคุณสมบัติต่างๆ (Guha and Ali, 2006) เช่น ต้องการผลิตอาหารที่มีลักษณะพอง (puff) หรือต้องการสร้างลักษณะปรากฏของอาหารให้คล้ายเนื้อสัตว์ และมีการเติมส่วนผสมอาหารที่มีโปรตีนสูงลงในสูตร เป็นต้น โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทขนมขบเคี้ยว ซึ่งความต้องการของตลาดมักจะมีหลากหลายในด้านรูปร่าง ขนาด สี และลักษณะเนื้อสัมผัส สิ่งต่างๆ เหล่านี้สามารถสร้างสรรค์ได้ด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ นอกจากนั้นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ยังสามารถรองรับการผลิต ที่ต้องการความยืดหยุ่นในเรื่องของพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วของสกรู ปริมาณความชื้น ตลอดจนอัตราการไหล

2.1.2 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ประกอบด้วยปั๊มและสกรูที่ทำหน้าที่อัดให้วัตถุดิบต่างๆ ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเกิดเป็นมวลแข็งโดยอัดผ่านช่องเปิดเล็ก ๆ เรียกว่า ไค (Die) ซึ่งอยู่ทางออกของปลายของสกรู ถ้าอาหารได้รับความร้อนระหว่างกระบวนการด้วย เรียกว่า Cooking extruder เอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่รวมเอาหน่วยปฏิบัติการแปรรูปอาหารหลายหน่วยเข้าด้วยกัน ได้แก่ การผสม การทำให้สุก การนวด การเคี้ยว การขึ้นรูป และการทำให้เกิดรูปร่าง ซึ่งสามารถใช้แทนการผลิตเดิมที่ยุ่งยากและหลายขั้นตอนได้ (Arnold, 1978)

เครื่องที่ใช้ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน จะเป็นเครื่องที่ทำการผลิตขนมขบเคี้ยว มีหน้าที่อยู่ 4 อย่าง คือ การผสม การทำให้สุก (cooking) การทำให้เกิดรูปร่าง (shaping) และการทำให้พอง (puffing)



ภาพที่ 1 แสดงเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว, Collet (รุ่น D50L300, บ. เจริญทัศน์)

2.1.2.1 หลักการทำงานของเครื่องกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่างโดยการบังคับสารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวผ่านรูหรือได้ด้วยความดัน ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอ็กซ์ทรูเดอร์มากที่สุด คือ สภาพวะการเดินเครื่อง อุณหภูมิ ความดัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของได และอัตราการเงื่อนไข ลักษณะของสกรู ส่วนคุณสมบัติของส่วนผสม ปัจจัยที่สำคัญที่สุด ได้แก่ ความชื้น ขนาดของวัตถุดิบและองค์ประกอบทางเคมี

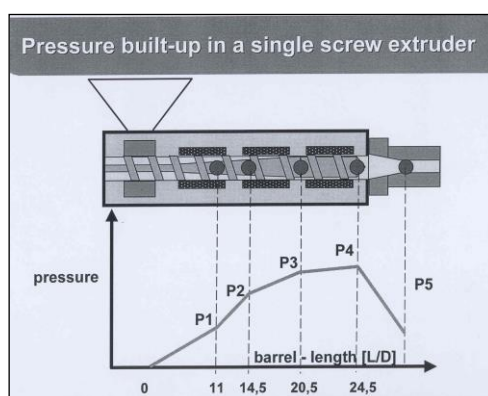
2.1.2.2 สกรูเป็นหัวใจของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยลักษณะของสกรูและความเร็วของการหมุนมีผลต่อการเอ็กซ์ทรูชัน การเคลื่อนที่ของส่วนผสมของวัตถุดิบเกิดจากเกลียวที่อยู่ตามแนวแกนความยาวของสกรู ผนังของบาร์เรลมักทำเป็นร่องเพื่อเพิ่มความฝืดและลดความลื่นเนื่องจากส่วนผสมที่ถัดจากผนังบาร์เรลมักจะลื่นและหมุนตามสกรู

สกรูทำหน้าที่ 3 อย่าง คือ

1. การขนถ่ายเคลื่อนย้ายมวล
2. ก่อให้เกิดพลังงานและความร้อน
3. เกิดการผสม

สกรูในส่วนแรกที่ทำหน้าที่ป้อนมักมีลักษณะสันเกลียวลึกซึ่งจะรับส่วนผสมของอาหารเคลื่อนที่ไปตามความยาวของสกรูและระหว่างการเคลื่อนที่ส่วนผสมจะได้รับการอัดเพิ่มขึ้น ส่วนที่สองของสกรูจะเป็นช่วงของการอัด สกรูจะมีสันเกลียวลดลงหรืออาจใช้วิธีการอื่นที่ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ลดลง ซึ่งมีผลให้เกิดการอัดมากขึ้น ส่วนนี้ของสกรูออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ผสมส่วนผสมของอาหารที่หลอมเหลวนี้ สันเกลียวที่ตื้นขึ้นจะเพิ่มแรงเฉือนและช่วยให้การผสมดีขึ้นเพื่อให้เกิดโดที่มีอุณหภูมิและความดันสูงสม่ำเสมอ

2.1.2.3 การทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ส่วนผสมที่ถูกป้อนเข้าสู่บาร์เรลของเครื่องมักอยู่ในรูปที่เป็นเม็ด (Granular) พลังงานต่างๆ ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องทั้งจากความร้อนของกระแสไฟฟ้า และความดันที่สูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาที เพราะถ้านานเกินไปจะทำให้เกิดการไหม้และเกิดกลิ่นรสแปลกปลอม สกรูจะทำหน้าที่ขนถ่ายส่วนผสมของอาหารทำให้เกิดการอัดและผ่านไดเพื่อให้เกิดรูปร่างต่าง ๆ



ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ของมวลหลอมตั้งแต่เริ่มจนเสร็จกระบวนการผลิต

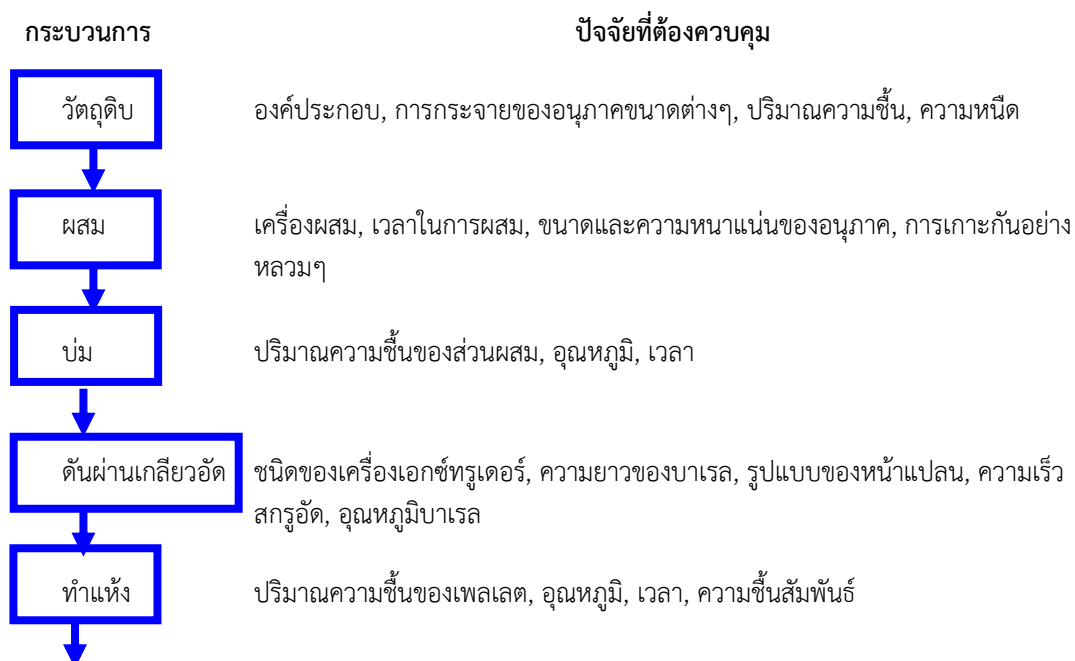
เมื่อได้ถูกปล่อยออกจากไต้ด้วยความดันสูงอย่างทันทีทันใด ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว (Puffing) อย่างทันที การพองตัวส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำที่ระเหยออกจากน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารที่ออกจากเอกซ์ทรูเดอร์ที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลเปิด ซึ่งเซลแต่ละเซลถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้งหรือโปรตีน ขนาดของเซลเหล่านี้เป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือลักษณะเนื้อและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เอกซ์ทรูเดตจะถูกตัดที่ผิวหน้าของไต้ด้วยใบมีด แล้วอบแห้งต่อด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้มีความชื้น 2-12 % ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์

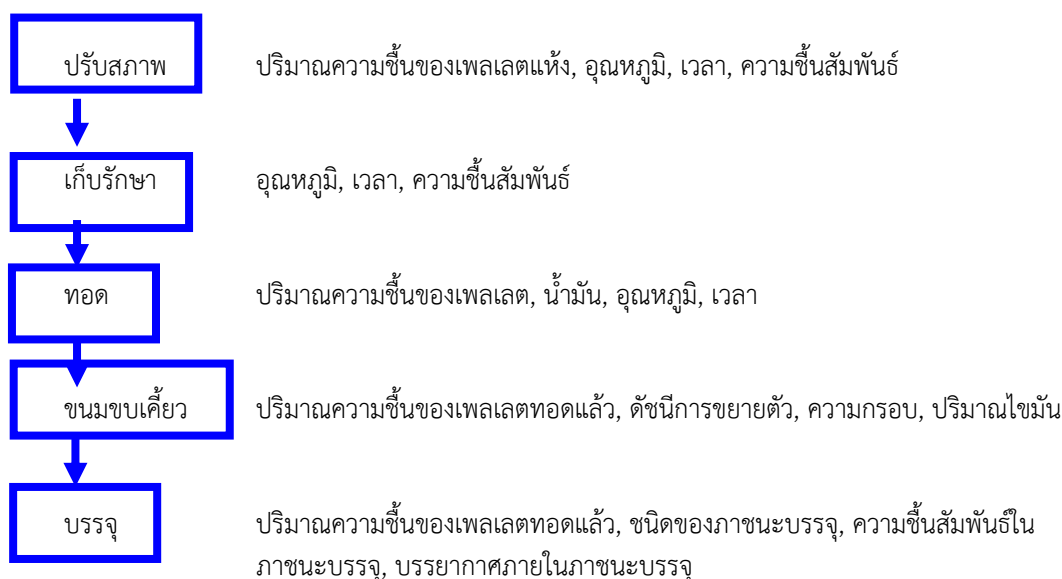
Kadan(2003) ศึกษากระบวนการเอกซ์ทรูชัน(extrusion) เป็นกระบวนการที่ทำให้ส่วนผสมอาหารขึ้นก่อนแล้วทำให้สุกอัดออกมาเป็นรูปทรง ซึ่งความร้อนที่ทำให้แป้งสุกนี้จะเปลี่ยนแป้งดิบให้เป็นเจลสมบูร์ณ อัดพองเป็นรูปต่างๆโดยผ่านรูใดแล้วอบให้แห้งกรอบ ปัจจุบันกระบวนการผลิตแบบ extrusion cooking เป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ประเภทขนมขบเคี้ยว และอาหารเข้าประเภทธัญพืช

2.1.3 ข้อดีของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการแปรรูปอาหาร

ลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากใช้พื้นที่และแรงงานในการผลิตต่อหน่วยผลิตน้อย สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเฉพาะได้หลายอย่าง กระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต, อัตราการผลิตสูงและเป็นกระบวนการผลิตอัตโนมัติ, มีเศษเหลือทิ้งน้อย ช่วยลดค่า BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่ทำการแปรรูป ควบคุมสภาวะทางด้านความร้อน ทางกล เพื่อปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับส่วนผสมที่ต้องการ

2.1.4 กระบวนการทางเทคโนโลยีเอกซ์ทรูชัน และปัจจัยที่ต้องควบคุม





แผนภาพที่ 1 กระบวนการทางเทคโนโลยีเอ็กซ์ทราซัน และปัจจัยที่ต้องควบคุมตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบจนบรรจุ

2.1.5 วัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยว

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำขนมขบเคี้ยว แบ่งออกเป็น 10 ชนิด ได้แก่ พืชหัว ธัญชาติ ถั่วเปลือกแข็ง(nut) ถั่ว legumes ผลไม้ พืชน้ำมัน เนื้อสัตว์ ปลาและอาหารทะเล ผลิตภัณฑ์ นม และแป้ง (Blenford ,1982) สำหรับอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวในประเทศ ส่วนใหญ่จะใช้พืชหัว ธัญชาติ และถั่วเมล็ดแห้ง ซึ่งทั้ง 3 ชนิดนี้ ใช้ในรูปแบบแป้งเป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยว แป้งที่ใช้เป็นแป้งลักษณะดิบ คือ ไม่ได้แปรรูป ด้วยกรรมวิธีทางกายภาพ ทางเคมี จุลินทรีย์

การเตรียมวัตถุดิบที่จะนำมาผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทราซันต้องนำวัตถุดิบมาผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำวัตถุดิบที่ผสมดีแล้วมาป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีได้หลายแบบตามลักษณะของเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์ที่ใช้และสภาวะของเครื่องที่กำหนด วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอ็กซ์ทราซันสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่ม ตามหน้าที่ของวัตถุดิบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ (Guy,1994) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ธัญชาติ และพืชหัว เป็นรูปของแป้ง (flour) ผงหยาบ(granule) และสตาร์ช(starch)

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่กระจายอยู่ในส่วนที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ โปรตีน และ เส้นใย

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มของสารช่วยให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันและช่วยให้การพาววัตถุดิบดีขึ้น ได้แก่ น้ำ น้ำมันและอิมัลซิไฟเออร์

กลุ่มที่ 4 เป็นสารที่ทำให้พองอากาศมาเกิดในผลิตภัณฑ์ที่มีผลให้ผลิตภัณฑ์พองและให้พองอากาศที่ละเอียด ได้แก่ ผงฟู โซลค์ และแคลเซียมคาร์บอเนต

กลุ่มที่ 5 เป็นสารที่ทำหน้าที่ให้รสชาติ ได้แก่ กลิ่น น้ำตาล และสารให้กลิ่นรสต่างๆ

กลุ่มที่ 6 เป็นกลุ่มที่ให้สี ได้แก่ นมผงและสีจากธรรมชาติ

2.1.6 การพองตัว

การพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ เพราะเป็นปัจจัยคุณภาพอย่างหนึ่งของการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค การพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ ความดันและความต้านทาน ความดันเกิดจากน้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัวดันให้เนื้ออาหารเป็นโพรง หรือรูพรุน เพื่อให้ความชื้นออกจากเนื้ออาหารได้ ในขณะที่เดียวกันก็จะเกิดแรงต้าน หรือแรงยึดมิให้น้ำขยายตัวหลุดออกไป ถ้าใช้พลังงานพอเหมาะจะทำให้ความดันเท่ากับ ความต้านทาน การพองตัวที่ได้จะมีการพองตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร ความชื้นที่เหลืออยู่พอเหมาะที่จะทำให้มีความกรอบพอเหมาะพอดี และมีโครงสร้างเนื้อสัมผัสดีไปด้วย แต่ถ้าความดันน้อยกว่าความต้านทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสจะไม่ดี มีรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่เป็นรูพรุนก็จะแห้ง สัดส่วนของแอมิโลสและแอมิโลแพคตินในแป้งมีผลต่อคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้ โดยแอมิโลสเพกตินจะช่วยให้อผลิตภัณฑ์พองตัว มีลักษณะโปร่งเบาและแตกหักได้ง่ายสำหรับการใช้แป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้แข็งแรง และมีข้อจำกัดในการพองตัว

2.1.6.1 กลไกการโตของฟองอากาศ การกำเนิดและการโตของฟองอากาศ (Initiation and early growth) ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ประกอบด้วย

-แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) เป็นวัตถุดิบที่ผลิตจากหินปูน และนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำเร็จรูปในอุตสาหกรรมต่างๆ ด้วยคุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ไม่เป็นพิษ มีความขาวและความสว่างสูง จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นตัวเติมเต็ม (Filler) และตัวเพิ่มปริมาณ (Extender) ในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยว เป็นต้น

-แคลเซียมคาร์บอเนต มีสูตรทางเคมี (CaCO_3) ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 และ CO_2 ร้อยละ 44 มีความแข็ง 3 ความถ่วงจำเพาะ 2.71 สลายตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส ลักษณะทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นผงสีขาวไม่ละลายน้ำแต่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและ คาร์บอนไดออกไซด์ โดยที่กลไกการโตของฟองอากาศเกิดจากกลไกการทำงานของปฏิกิริยาการสลายตัวของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ดังนี้ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2547)

โดยที่กลไกการโตของฟองอากาศจะเกิดขึ้นขณะที่น้ำถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นน้ำเดือด บริเวณที่อยู่รอบหยดน้ำขยายออกเป็นบริเวณกว้างและเป็นวงกลม เกิดเป็นผนังเซลล์ล้อมรอบฟองอากาศหรือฟองไอน้ำ ฟองอากาศจะขยายตัวออกเรื่อยๆจนผนังเซลล์แต่ละฟองอากาศเริ่มชนติดกัน การเชื่อมติดกัน ฟองอากาศเล็กรวมกับฟองอากาศใหญ่ เนื่องจากผนังเซลล์ขาดจึงทำให้ฟองอากาศมารวมกันเป็นโครงสร้างรูพรุนในเม็ดอาหารที่ไม่มีความสม่ำเสมอของฟองอากาศ ซึ่งการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจะช่วยทำให้เอกซ์ทราเด็ตที่ออกจากหน้าแปลนเกิดโครงสร้างลักษณะรูพรุนในผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตเมื่อได้รับ

ความร้อนและน้ำจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เอกซ์ทราเกิดเกิดการพองตัว อีกทั้งแคลเซียมคาร์บอเนตยังเป็น nucleation ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นตัวล่อขนาดเล็กทำให้เกิดพองอากาศที่มีขนาดเล็กเท่าๆกัน ขนาดของรูพรุนมีลักษณะที่สม่ำเสมอเพิ่มขึ้น (ณัฐชนก,มปป.)

2.1.7 การอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ได้จากกระบวนการเอ็กซ์ทราชันยังมีความชื้นอยู่มาก จึงมีความจำเป็นที่ต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบแห้ง เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์ที่สุกแต่ยังไม่พองทันที และเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองทันที

ขนมขบเคี้ยวประเภทสุกพองทันทีต้องการการอบแห้งหลังจากกระบวนการอัดพอง ความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้นมีค่าประมาณร้อยละ 15-20 ความชื้นของขนมขบเคี้ยวลดลงเป็นร้อยละ 8-12 เมื่อผ่านกระบวนการอัดพอง เนื่องจากน้ำจะถูกความร้อนทำให้กลายเป็นไอน้ำและระเหยออกไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอบไล่ความชื้นเหลือเพียงร้อยละ 2-3 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่กรอบแห้ง และเพื่อเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ประชา(2537) กล่าวว่า ขนมขบเคี้ยวที่มีข้าวโพดเป็นส่วนประกอบหลักด้วยกระบวนการอัดพอง ผลิตภัณฑ์ใช้อุณหภูมิในการอบประมาณ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้อบอยู่ระหว่าง 15-30 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแห้ง และกรอบคงทน มีความชื้นร้อยละ 2-3

2.1.8 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และวอเตอร์แอคทิวิตี้

วอเตอร์แอคทิวิตี้ของน้ำ (Water Activity) หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์(PO) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งก็คือ ความดันไอสัมพัทธ์ เนื่องจากน้ำที่อยู่ในอาหารอยู่ในรูปสารละลายซึ่งหากสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น ความดันไอของน้ำในอาหารก็จะลดลง ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของน้ำในอาหารจึงลดลง

ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการความชื้นหรือน้ำมากกว่ายีสต์และเชื้อรา อาหารแต่ละชนิดจะเสียเร็วหรือช้าขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า วอเตอร์แอคทิวิตี้ อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจัดอยู่ในประเภทที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้สูง ซึ่งค่าใกล้เคียง 1.00 ได้แก่ อาหารสดทั้งหลาย เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล และผักสด เป็นต้น อาหารที่จัดอยู่ในจำพวกอาหารกึ่งแห้ง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ อยู่ในช่วง 0.6 – 0.9 ได้แก่ แยม พุรีนกวน และกึ่งแห้ง เป็นต้น ส่วนอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ต่ำกว่า 0.6 ได้แก่ อาหารแห้ง ธัญชาติ นมผง และกาแฟ ซึ่งเกิดการเน่าเสียได้ยากสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน

จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญได้ในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ต่างกัน แบคทีเรียเจริญได้ดีในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้สูง ส่วนยีสต์และเชื้อรานั้นทนต่อสภาพที่ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำได้ดีกว่า นั่นคือการเน่าเสียของอาหารแห้งส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อรา จุลินทรีย์แต่ละชนิดที่มีความสำคัญในอาหารสามารถเจริญในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ขั้นต่ำสุดแตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ค่าวอเตอร์แอคติวิตีของน้ำในอาหารที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร

ชนิดอาหาร	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี
Distilled water	1.00
Tap water	0.99
Raw meats	0.97 - 0.99
Milk	0.97
Juice	0.97
Cooked bacon	< 0.85
Saturated NaCl solution	0.75
Point at which cereal loses crunch	0.65
Typical indoor air	0.50 - 0.70
Honey	0.50 - 0.70
Dried fruit	0.50 - 0.60

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอคติวิตีของน้ำและการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารชนิดต่างๆ

ค่า P/Po (A_w)	จุลินทรีย์ที่ไม่เจริญในช่วงค่า A_w ต่ำกว่านี้	ชนิดของอาหารที่มีค่า A_w อยู่ในช่วงนี้
1.00-0.95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i>	ผัก ผลไม้สด เนื้อสัตว์ ปลา นํ้านม ไข่ กรอก
	<i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> ยีสต์และราบางชนิด	อาหารที่มีน้ำตาล 40% หรือเกลือ 7%
0.95-0.91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>C.botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , ยีสต์ ราชางชนิด (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>)	เนยแข็ง แยม น้ำผลไม้เข้มข้นบางชนิด อาหารที่มีน้ำตาลสูงถึง 55% หรือมีเกลือ 12%
0.91-0.87	Many yeasts (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>) , <i>Micrococcus</i>	ไส้กรอกหมัก เค้กไข่ เนยเทียม อาหารที่มีน้ำตาลสูงถึง 65% หรือมีเกลือ 15%
0.87-0.80	Most molds (mycotoxigenic <i>penicillia</i>) , <i>Staphylococcus aureus</i> , most <i>Saccharomyces</i> (<i>bailli</i>) spp., <i>Debaryomyces</i>	น้ำผลไม้เข้มข้นส่วนใหญ่ นมข้นหวาน น้ำเชื่อม ซ็อกโกแลต น้ำเชื่อมจากผลไม้ หรือ จากเมเปิล แป้ง ข้าว เมล็ดที่มีความชื้น 15-17% เค้กผลไม้
0.80-0.75	Most halophilic bacteria, mycotoxigenic <i>aspergilli</i>	แยม มาร์มาเลด มาร์ชเมลโล
0.75-0.65	Xerophilic molds (<i>Apergillus chevalieri</i> , <i>A.candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i>), <i>Saccharomyces bispurus</i>	เกล็ดข้าวโอ๊ตที่มีความชื้น 10% เยลลี่ ผลไม้แห้ง และพวกถั่ว

0.65-0.60	Osmophilic molds (<i>Saccharomyces rouxii</i>), ร ำ บ ำ ง ช น ิต เ ช ้น <i>Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>	ผลไม้แห้งที่มีความชื้น 15-20% น้ำผึ้ง ทอฟฟี่ และคาราเมล
0.50	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	มักกะโรนี สปาเกตตี้ที่มีความชื้น 12% เครื่องเทศที่มีความชื้น 10%
0.40	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	ไข่ผงที่มีความชื้น 5%
0.30	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	คุกกี้ แครกเกอร์
0.20	ไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต	นมผงที่มีความชื้น 2-3% ผลไม้แห้ง และ ข้าวโพดแผ่นกรอบที่มีความชื้น 5%

ที่มา : รุ่งนภา,2550\

2.1.9 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

การดูดซับน้ำ จะเกิดขึ้นเมื่อเติมน้ำลงไปในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเมื่ แป้งจะดูดซึมน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมลงไปและความชื้นภายในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมี 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (bound water) และน้ำในรูปอิสระ (free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8-10% สามารถจับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ ดังนั้นเมื่อความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (กล้าณรงค์,2550)

Lee and Osman (1991) กล่าวว่า การพองตัวของสตาร์ชเกิดขึ้นโดยโมเลกุลของน้ำจับกับโมเลกุลของสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่วนการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งพันธะไฮโดรเจนของโครงสร้างที่เป็นผลึกในสตาร์ชจะแตกออก โดยน้ำจะเข้าไปแทนที่ในผลึกทำให้สตาร์ชเกิดการพองตัว

ความสามารถในการดูดซับน้ำ(WAI) นิยามถึง ปริมาณของสตาร์ชที่พองตัวในน้ำปริมาณมากเกินพอ ส่วนความสามารถในการละลาย (WSI) นิยามถึง ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกมาจากอนุภาคของสตาร์ชในน้ำปริมาณมากเกินพอ ซึ่งค่าทั้งสองนี้บ่งบอกถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดต โดยเมื่อค่า WSI เพิ่มขึ้น จะแสดงถึง starch conversion ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อสตาร์ชถูกทำลาย และมีความสามารถจับน้ำได้ดี (Sriburi and Hill, 2000) โดยค่าพารามิเตอร์บ่งบอกถึง starch conversion ได้แก่ ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ แรงเฉือนและคุณภาพทางเคมี (Myllymaki et al., 1997)

2.2 ข้าวโพด

2.2.1 นิยาม

ข้าวโพดเป็นพืชตระกูลหญ้า (Gramineae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays*. โครงสร้างของเมล็ดข้าวโพดแบ่งออกเป็นสามส่วน ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและส่วนของเอ็นโด-สเปิร์ม ซึ่งเป็นอาหารที่สะสมในเมล็ด ส่วนที่เป็นแป้งมี 2 ชนิด คือ แป้งอ่อนเป็นแป้งที่เกาะกันหลวมๆ มีสีขาวขุ่น และแป้งแข็งเป็นแป้งที่มีเซลล์รวมกันอยู่อย่างแน่นอนมีลักษณะค่อนข้างใส ส่วน germ ซึ่งฝังตัวอยู่ในเอ็นโดสเปิร์ม(Endosperm)สามารถเจริญเป็นต้นอ่อนได้ ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 70 ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแป้ง(starch)แป้งข้าวโพดจะมีอะมิโลส(Amylose)อยู่ร้อยละ 23 แป้งในธรรมชาติจะมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่มีรสชาติ และไม่เหมาะสำหรับรับประทาน การทำให้แป้งอยู่ในลักษณะที่ย่อยง่ายและเป็นที่ยอมรับต่อการบริโภคคือ การหุงต้ม สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่บริโภคได้เลย ธัญชาติจะถูกทำให้สุกในระหว่างการผลิตโดยการหุงต้มในน้ำที่ร้อน 60-80 องศาเซลเซียส จะทำให้แป้งเกิดเป็นเจลละติไนซ์(Gelatinization)และมีลักษณะที่ง่ายต่อการย่อยด้วยเอนไซม์(Enzyme) ถ้าเกิดกรณีการหุงต้มใช้น้ำน้อย และใช้ความร้อนสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล(Browning) โปรตีนในข้าวโพดมีประมาณร้อยละ 10 พบมากที่สุดในส่วนที่เป็นเอ็นโดสเปิร์มร้อยละ 73.1 ปลูเอ็มบริโอ(Embryo) ร้อยละ 23.9 ไขมันและน้ำมันร้อยละ 4 พบมากที่สุดในส่วนที่เป็นเอมบริโอและเอ็นโดสเปิร์มร้อยละ 83.2 และ 15 ตามลำดับ และยังประกอบด้วยวิตามินต่างๆที่สำคัญได้แก่วิตามินเอ, บี1, บี3, แคโรทีน(Carotene) กรดแพนโทนิค(Pantothenic acid)และวิตามินอี (อรอนงค์, 2547)

แป้งข้าวโพดนี้เป็นแป้งที่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดในโลก เนื่องจากประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ผลิตรายใหญ่และนำเทคนิคทางพันธุวิศวกรรมช่วยดัดแปรคุณสมบัติ ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมในข้าวโพดส่งผลให้แป้งผลิตได้มีคุณสมบัติต่างๆแตกต่างกัน(กล้าณรงค์และเกื้อกุล: 2546)

2.3 สมุนไพรไทย

2.3.1 นิยาม

พืชสมุนไพร หมายถึง พืชที่ใช้ทำเป็นยารักษาโรค โดยใช้ส่วนต่างของพืชชนิดเดียวหรือหลาย

ชนิดพร้อมกัน (FOSTAT, 2005) พืชสมุนไพรเป็นกลุ่มพืชที่อยู่ในความสนใจ และมีผู้ศึกษาทางด้านพฤกษศาสตร์พื้นบ้านมากที่สุด ยารักษาโรคปัจจุบันหลายขนานที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรม ได้มาจากการศึกษาวิจัยการใช้พืชสมุนไพรพื้นบ้านของกลุ่มชนพื้นเมืองตามป่าเขาหรือในชนบท ที่ได้รับการถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษที่ได้สังเกตว่าพืชใดนำมาใช้บำบัดโรคได้ (Scott, 1995) มีสรรพคุณอย่างไรจากการเรียนรู้ด้วยประสบการณ์ และการทดลองแบบพื้นบ้านที่ได้ทั้งข้อดีและข้อผิดพลาด

2.3.2 กลุ่มพืชสมุนไพร ในตำรายาไทยมีหลายร้อยชนิด แยกเป็นกลุ่มได้ดังนี้ (กองโภชนาการ , มปป)

2.3.2.1 กลุ่มพืชสมุนไพรที่ใช้แก้ไข้และขับปัสสาวะ เช่น เปลือกพญาสัตบรรณ

หรือตีนเป็ด (*Alstoniascholaris*) ราก เปลือก และใบ ขลุ่ (*Pluchea indica*) ใบ เนื้อไม้ ผล และ เมล็ดมะค่าไก่ หรือประคำไก่ (*Drypetes roxburghii*) เถาบอระเพ็ด (*Tinospora crispa*) เถา ขมิ้นเครือ (*Arcangelisia flava*) ราก เหง้า และใบหญ้าคา (*Imperata cylindrica*) ผลน้ำเต้า (*Legenaria siceraria*)

2.3.2.2 กลุ่มพืชสมุนไพรที่ใช้เป็นยาแก้ท้องเสีย เช่น ใบและผลมะตูม (*Aegle*

marmelo) เปลือกประดู่บ้าน (*Pterocarpus indicus*) เหง้าไพล (*Zingiber purpureum*) เหง้าและ รากกระชาย (*Boesenbergia rotunda*) แก่นฝาง (*Caesalpinia sappan*) ราก เปลือก เนื้อไม้ ใน และดอกแก้ว (*Murrayapaniculata*) เปลือกโมกหลวง (*Holarrhenapubescens*)

2.3.2.3 กลุ่มพืชสมุนไพรที่ใช้เป็นยาระบายและขับพยาธิ เช่น ผลดิบมะเกลือ (*Diospyrosmollis*) เมล็ดเถาเล็กมีอนาง (*Quisqualis indica*) เมล็ดแห้งผักทอง (*Cucurbita moschata*) เนื้อในเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica*)

2.3.2.4 กลุ่มพืชสมุนไพรที่ใช้เป็นยาขับลม เช่น เหง้าแก่ขิง (*Zingiber officinale*) เหง้าข่า (*Alpinia galanga*) ผลพริกไทย (*Piper nigrum*) ต้นตะไคร้ (*Cymbopogon citratus*)

2.4 พืชสมุนไพรพื้นบ้าน

2.4.1 นิยาม

พื้นบ้านจะเน้นเฉพาะพืชที่เก็บหาได้ในธรรมชาติ จากป่าท้องทุ่ง ฯลฯ พืชป่าหลายชนิดถูก นำมาปลูกทิ้งไว้ตามหัวไร่ปลายนา หรือในบริเวณหมู่บ้าน เพื่อความสะดวกในการเก็บหามาใช้ บริโภคในชีวิตประจำวัน พืชอาหารบางชนิดเป็นที่นิยมกันทั่วไปเกิดการแย่งชิงเก็บหาออกจากป่าจน เกินกำลังผลิตทำให้ผลิตผลในธรรมชาติลดลง ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ในปัจจุบันได้มีการนำพืช ป่าดังกล่าวมาปลูกขยายพันธุ์ในสวนหรือในแปลง เพื่อเก็บผลิตผลเป็นการค้า เช่น สะตอ เนียง ผักหวาน ผักกระเฉด ฯลฯ พืชอาหารที่ใช้บริโภคเก็บหาในธรรมชาติบางครั้งจะพบวางขายตามตลาด สดในชนบทจำแนกออกเป็นกลุ่มได้

2.4.2 กลุ่มพืชสมุนไพรพื้นบ้าน แบ่งเป็น

2.4.2.1 พืชผักสมุนไพรพื้นบ้าน

รวมถึงพืชชั้นต่ำจำพวกสาหร่าย เห็ด เฟินจนถึงพืชชั้นสูงทั่วไป ชนพื้นบ้านนำส่วน ต่างๆ ของพืชมาใช้บริโภคตามความเหมาะสม ได้แก่ ส่วนของราก หัว เหง้า ลำต้น ยอด ใบ ดอก ผล เมล็ด หรือใช้ทั้งต้น วิธีการประกอบอาหารอาจจะใช้เป็นผักสด ผักลวก ผักดอง ต้มใส่ในแกงผัด หรือใช้เป็นเครื่องปรุงอาหาร เช่น เทา (*Spirogyra* sp.) สาหร่ายสีเขียวน้ำจืดใช้กินเป็นผักกับน้ำพริก ลาบ ปนในแกงส้ม หรือ ผัดกับไข่ เห็ด ที่เกิดตามธรรมชาติและนำมาเป็นอาหารมีหลายชนิด ส่วนใหญ่ จะปรุงให้สุกเสียก่อนโดยการนึ่ง ย่าง ต้ม หรือผัด ใช้กินกับน้ำพริก ใส่แกงหรือผัดผัก เฟิน ใช้ส่วนของ ยอดอ่อนหรือใบอ่อนเป็นอาหาร สะเดาหรือสะเดาไทย (*Azadirachta indicavar. siamensis*) ช่อ

ดอกและใบอ่อนมีรสขม นำมาต้มหรือลวกเป็นผักจิ้มน้ำปลาหวาน จี๊วหรือจี๊วแดง (*Bombax ceiba*) ใช้เกสรตัวผู้แห้งที่ร่วงหล่นจากดอกนำมาปรุงกับแกงส้มแกงเผ็ด ใบอ่อน ดอกตูมและผลอ่อนใช้เป็นผักจิ้มน้ำพริก ชะมวงหรือส้มวง (*Garcinia cowa*) ใบมีรสเปรี้ยว ใช้ใส่ต้มปลา ต้มหมู ต้มเครื่องใน ส้มแขกหรือส้มพะงุ่น (*Garcinia atroviridis*) ผลสดและเนื้อในผลตากแห้งมีรสเปรี้ยวใช้ใส่ต้มเนื้อต้มปลา แกงส้ม และน้ำแกงขนมจีน

2.4.2.2 พืชไม้ผลสมุนไพรพื้นบ้าน

พรรณไม้ในป่าหลายชนิดให้ผลที่มีรสและคุณค่าทางโภชนาการ ชนพื้นบ้านนำมาใช้บริโภคแบบผลไม้เศรษฐกิจทั่วไป มีเพียงไม่กี่ชนิดที่นำมาปลูกตามบ้านหรือหัวไร่ปลายนา เช่น มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) ผลสดใช้อมหรือเคี้ยวทำให้ชุ่มคอ แก้กระหายน้ำ ผลแห้งนำมาต้มดื่มแก้ไอ แก้ไข้ มะดัน (*Garcinia schomburgkiana*) ผลมีรสเปรี้ยวจัดใช้แทนมะนาวได้ดี มักนิยมนำไปดองน้ำเกลือเพื่อทำให้รสเปรี้ยวลดลงและเก็บไว้ได้นาน มะตูม (*Aegle marmelos*) เนื้อของผลสุกเมื่อแกะเมล็ดทิ้งไปกินได้ รสหวาน ผลดิบนำมาฝานเป็นแผ่น ตากให้แห้งแล้วเอาไปย่างไฟพอเกรียม ใช้ชงน้ำร้อนแทนชาได้ เรียกขามะตูมหรือน้ำมะตูม

2.5 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

2.5.1 นิยาม

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (snack products) จัดเป็นอาหารว่างหรืออาหารที่บริโภคระหว่างมื้อหลัก บริโภคเพื่อความเพลิดเพลิน บริโภคได้ง่ายและสะดวก ส่วนใหญ่เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง เนื่องจากมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตและไขมันปริมาณมาก เกณฑ์สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ กำหนดให้ควรมีพลังงาน 150 กิโลแคลอรีต่อหนึ่งหน่วยบริโภค หรือ ต่อหนึ่งม้วน มีส่วนผสมไขมัน/น้ำมันไม่เกิน 2.5 กรัม น้ำตาลไม่เกิน 12 กรัม และเกลือโซเดียมไม่เกิน 100 มิลลิกรัม รวมทั้งควรมีสารอาหารสำคัญไม่น้อยกว่า 2 ชนิด เช่น โปรตีน วิตามิน เกลือแร่และใยอาหาร โดยแต่ละชนิดควรไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ของปริมาณที่ควรได้รับต่อวัน