

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 เยลลี่ (Jelly)

เยลลี่ (jelly)

โดยทั่วไปแล้ว หมายถึง อาหารชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นก้อน มีความหยุ่นตัวแต่ยังสามารถคงรูปร่างเดิมไว้ได้ (อำนาจ สุขเหมือน, 2527) ซึ่งตามมาตราฐานอาหารได้ให้ความหมายไว้ใน มอก.263-2521 ว่า เยลลี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้น หรือสกัดจากผลไม้สด หรือน้ำผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธีหรือทำให้เข้มข้น หรือแช่แข็งผสมกับสารให้ความหวาน และทำให้มีความเหนียวพอเหมาะโดยไม่มีเนื้อผลไม้เจือปน (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม [สมอ.], 2542)

ปัจจุบันเยลลี่เป็นขนมหรือของว่างที่นับว่าเป็นที่นิยมอีกประเภทหนึ่งในหมู่ผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะเด็กๆ เยลลี่มีทั้งแบบแข็งคลุกน้ำตาล มีหลายสี หลากรส หลายรูปแบบมีทั้งชนิดผงและแบบถ้วยพลาสติกใส เยลลี่ไม่ได้เป็นของใหม่สำหรับคนไทย เพราะแต่เดิมก็มีวุ้นกะทิ วุ้นมะพร้าว ตะโก้ ฯลฯ มาเป็นเวลานานแล้ว ต่อมาได้รับอิทธิพลจากต่างประเทศมากขึ้นจึงนิยมบริโภคขนมที่เรียกว่าเยลลี่แทน ซึ่งวุ้นและขนมไทยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ไม่นานก็จะเน่าเสีย ส่วนเยลลี่ต้องเก็บในตู้เย็นมิฉะนั้นจะละลาย แต่เยลลี่ในปัจจุบันสามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องแช่ตู้เย็น

สำหรับการแข่งขันของตลาดระหว่างผู้ผลิตรายใหญ่ภายในประเทศ (ศิริกุล จงธนสารสมบัติ, 2534) คือ บริษัท ยูโรเปียนฟู้ด จำกัด ผลิตเยลลี่ถ้วยตรา ปีโป้ เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดในประเทศ มีกำลังการผลิตประมาณ 5,900 ตันต่อปี ครอบครองส่วนแบ่งตลาดประมาณ 40 % รองลงไปได้แก่ บริษัท อิมพีเรียล เบนเนอรัล ฟู้ดส์ อินดัสทรี จำกัด มีกำลังการผลิตปีละประมาณ 3,540 ตันต่อปี บริษัท ยูไนเต็ด แครี่ ฟู้ดส์ จำกัด ผลิตเยลลี่ถ้วยตรา อิมพีเรียล มีกำลังการผลิต 2,360 ตันต่อปี และบริษัท วี.เอส. ฟู้ดส์ จำกัด ผลิตเยลลี่ถ้วยตรา ฮีโร่ มีกำลังการผลิตปีละประมาณ 2,360 ตันต่อปี นอกจากนี้ได้มีบริษัทใหญ่เข้ามาสู่ตลาดอุตสาหกรรมผลิตเยลลี่ด้วย คือ บริษัท ผลิตภัณฑ์อาหารกิมเฮง จำกัด ผลิตเยลลี่ถ้วยตรา ฮีโร่ เช่นเดียวกับบริษัท วี.เอส. ฟู้ดส์

จำกัด ส่วนราคาขายส่งที่แข่งขันกันอยู่ในปัจจุบันจะประมาณ 35-60 บาทต่อกิโลกรัม การที่ราคาแตกต่างกันมากนั้น ขึ้นอยู่กับต้นทุนการส่งเสริมการจำหน่ายเป็นสำคัญ ยิ่งมีการโฆษณาส่งเสริมการขายมากเท่าใดราคาก็จะสูงตามต้นทุนไปด้วยเป็นธรรมดา โดยปกติทั่วไปผู้ผลิตจะมีการจัดจำหน่ายให้ผู้ค้าส่งทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด การส่งให้ห้างสรรพสินค้าซูเปอร์มาเก็ตต่างๆ และผู้ค้าปลีกรายใหญ่ๆ ส่วนผู้ค้าปลีกรายย่อยๆ จะมีการส่งผ่านสินค้าทางผู้ค้าส่งเพื่อให้สินค้ากระจายไปอย่างทั่วถึง รวดเร็ว

ความต้องการบริโภคเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากประมาณ 5,000 ตัน ในปี 2528 เป็น 12,724 ตัน ในปี 2533 และในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยประมาณ 20% ต่อปี คาดว่าแนวโน้มความต้องการของตลาดในอนาคตจะยังคงขยายตัวต่อเนื่องอีกต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจและรายได้ของประชากร ตลอดจนวิถีชีวิตความเป็นอยู่ทางสังคมเมืองที่มีห้างสรรพสินค้าและร้านค้าอยู่ทั่วไป ทำให้หาซื้อสินค้าที่ต้องการได้ง่าย ประกอบกับผู้ผลิตได้มีการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพสินค้าและรูปแบบของบรรจุภัณฑ์อยู่ตลอดเวลา มีการส่งเสริมการขายอย่างต่อเนื่องเพื่อขยายตลาดและจูงใจผู้บริโภค จึงคาดว่าความต้องการเฉลี่ยด้วยของตลาดในประเทศจะยังคงขยายตัวไม่ต่ำกว่า 15 % ต่อปี

2.1.1 ประเภทของเยลลี่

ลักษณะของเยลลี่ที่ดีคือ มีลักษณะกึ่งแข็ง กึ่งเหลว ต้องใส เป็นประกาย แสงผ่านได้ มีสีสวยและไม่ขึ้นหรือเศษของผลไม้ปะปนอยู่ มีสีกลิ่นรสตามชนิดของผลไม้ที่เติมลงไป มีความลื่น และมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม สามารถตัดออกได้ง่าย และรอยตัดนั้นยังคงรูปอยู่เหมือนเดิม (ชุมสาย สีลวนิช, 2534; Chaiprasop, 1991)

พระราชบัญญัติอาหารปี พ.ศ.2522 ได้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนุ่มและยืดหยุ่นเป็นวุ้น ซึ่งทำจากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักให้เป็นอาหารทั่วไปที่ต้องแสดงฉลากโดยให้อยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า “วุ้นสำเร็จรูป” และ “ขนมเยลลี่” โดยให้ใช้คำว่า “วุ้นสำเร็จรูป” ในกรณีที่มียาผลไม้ผสมอยู่น้อยกว่า 10 % และ/หรือปรุงแต่งด้วยสี กลิ่น และรส ส่วนคำว่า “ขนมเยลลี่” ให้ใช้เรียกวุ้นสำเร็จรูปที่มีน้ำผลไม้อยู่ 10-20 % ซึ่งรวมถึงอาหารประเภทนี้ทั้งชนิดผงแห้งและพร้อมบริโภคด้วย โดยกฎหมายกำหนดให้ใช้อักษรย่อว่า “วล” เป็นชื่อผลิตภัณฑ์

วุ้นหรือเยลลี่สามารถแบ่งได้ดังนี้ (วิสิฐ จะวะสิต, 2537)

(1) วุ้นเจลาตินสำเร็จรูปชนิดผง

รู้จักผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ในชื่อว่า เยลลี่ (jelly) ส่วนคำว่า "วุ้นเจลาตินสำเร็จรูปชนิดผง" เป็นภาษาทางกฎหมาย ปกติบรรจุในถุงพลาสติกและมีกล่องกระดาษสวมทับอีกชั้นหนึ่ง สารที่ทำให้มีลักษณะเป็นวุ้นคือเจลาติน (gelatin) ต้องบริโภคที่อุณหภูมิตู้เย็นมิฉะนั้นจะละลาย (ปกติวุ้นเจลาตินละลายที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ถ้าดูตามฉลากจะพบว่าปริมาณน้ำตาลสูงมาก แต่เมื่อนำไปละลายน้ำร้อนตามส่วนแล้วจะมีน้ำตาลเพียง 15 % เจลาติน 2 % และองค์ประกอบส่วนใหญ่คือน้ำประมาณ 80 % ขึ้นไป ความยืดหยุ่นของเยลลี่เกิดจากโมเลกุลของเจลาตินกักน้ำไว้ใน กฎหมายกำหนดให้เยลลี่ชนิดนี้ระบุข้อความว่า "เด็กควรบริโภคแต่น้อย" ไว้บนกล่อง เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้ไม่มีสารอื่นที่มีประโยชน์นอกจากน้ำตาล ซึ่งถ้าเด็กบริโภคในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถรับประทานอาหารชนิดอื่นที่มีประโยชน์ได้อีก

(2) ผงวุ้นสำเร็จรูปชนิดต่างๆ

สารที่ทำให้เกิดวุ้นคือ วุ้นอะการ์ (agar) โดยผสมกับน้ำตาลและสารให้กลิ่นรสบรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์เคลือบพลาสติก เมื่อนำผงวุ้นมาละลายในน้ำร้อนและเทใส่พิมพ์ก็จะได้วุ้นที่มีรสชาติต่างๆ โดยมีปริมาณวุ้นอะการ์ประมาณ 1 % น้ำตาลประมาณ 15-18 % สารให้กลิ่นรส และมีน้ำประมาณ 80 % ขึ้นไป กลไกการเกิดเป็นวุ้นเหมือนลูกโป่งที่ใส่น้ำคืออะการ์จะกักน้ำไว้ในโมเลกุลเช่นเดียวกับเจลาติน แต่จะไม่ละลายที่อุณหภูมิห้อง ประโยชน์ทางโภชนาการคล้ายวุ้นเจลาติน แต่ไม่ต้องมีข้อความระบุว่า "เด็กควรบริโภคแต่น้อย"

(3) วุ้นคารราจีแฉนสำเร็จรูป

บรรจุในถ้วยพลาสติกปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์หรือพลาสติก ขนาดบรรจุประมาณ 15-100 กรัม ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ใช้คารราจีแฉนเป็นตัวช่วยให้เกิดความหยุ่นในปริมาณที่สูงคือ 6-8 % และมีน้ำตาล 20 % ซึ่งสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภทแรกเล็กน้อย คุณค่าทางอาหารจึงไม่ต่างกันมากนัก แต่เก็บได้นานกว่าและไม่จำเป็นต้องใส่ตู้เย็น เนื่องจากมีการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนก่อนที่จะบรรจุ และบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท

(4) วุ้นเจลาตินสำเร็จรูป หรือ ขนมเยลลี่พร้อมบริโภค

ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีความยืดหยุ่นที่ค่อนข้างเหนียวเหนียวแตกต่างจากชนิดอื่นที่กล่าวมา มักบรรจุในถุงพลาสติกเคลือบสีโลหะวาว ตัวขนมมักทำเป็นรูปร่างต่างๆ เช่น สัตว์ต่างๆ ดาว ขวดน้ำอัดลม ฯลฯ และเคลือบด้วยเกล็ดน้ำตาล ส่วนประกอบหลักคือ น้ำตาลประมาณ 35-45 % กลูโคสไซรัป (glucose syrup) หรือ น้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup) 35-45 % และเจลาติน 5-12 % ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นขนมเยลลี่การเติมน้ำผลไม้ประมาณ 10-12 % ซึ่งจะทำให้กลิ่นรสเป็นธรรมชาติมากขึ้น และอาจได้รับวิตามินและเกลือแร่เพิ่มขึ้นบ้าง ส่วนผลิตภัณฑ์วุ้นเจลาตินสำเร็จรูปจะเติมกลิ่นรสลงไปแทน ความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เกิดจากเจลาตินที่ชั้นมากทำให้ยืดหยุ่นแบบเหนียว ไม่เปราะเหมือนวุ้นหรือเยลลี่ชนิดอื่น นอกจากนี้น้ำตาลในปริมาณที่สูงและกลูโคสไซรัปยังช่วยรักษาคุณภาพและความฉ่ำของผลิตภัณฑ์ไว้ ทำให้สามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิปกติ แต่ปริมาณน้ำตาลที่สูงนี้จะทำให้ผู้ที่รับประทานเข้าไปมากๆลดความต้องการบริโภคอาหารลงไป และความเหนียวและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ก็ง่ายต่อการติดตามซอกฟันเป็นสาเหตุให้ฟันผุได้

2.1.2 ส่วนประกอบของเยลลี่

การผลิตเยลลี่มีส่วนประกอบดังนี้ คือ

1) สารที่ทำให้เกิดเจล (Gelling agent)

เป็นสารที่ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นวุ้น หรือเยลลี่ที่มีความยืดหยุ่น

2) น้ำตาลซูโครส (Sucrose)

เป็นสารที่ให้ความหวาน ให้โครงสร้างกับผลิตภัณฑ์ และเป็น dehydrated agent

3) กลูโคสไซรัป

ช่วยป้องกันการตกผลึก (crystallisation) ของน้ำตาลซูโครส ให้รสชาติ และเพิ่มความเหนียวให้ผลิตภัณฑ์

4) กรดซิตริก (Citric acid)

ช่วยในการเซ็ตตัวเป็นเจล และช่วยปรับปรุงรสชาติ อาจมีการเติมโซเดียมซิเตรต (sodium citrate) เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของ pH

5) สี กลิ่นรส หรือน้ำผลไม้

จะช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะที่น่ารับประทานเพิ่มขึ้น

โดยเยลลี่ส่วนใหญ่จะมี pH ในช่วง 3.0-3.7 และมีค่า Aw เท่ากับ 0.75 (Ali, Idreese and Yousif ,1990)

2.1.3 สารที่ช่วยในการเกิดเจลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่

สารที่ทำให้เกิดลักษณะนุ่ม และยืดหยุ่นเป็นวุ้นที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่

(วิธีรัฐ จะวะสิต, 2537) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) ประเภทโปรตีน : ปกติมักระบุว่ามีการเจลาติน ซึ่งเป็นโปรตีนที่สกัดจากหนังหมู
- 2) ประเภทคาร์โบไฮเดรต : มีหลายชนิดที่นิยมใช้ แต่ที่คุ้นเคยมากคือ วุ้น หรือที่เรียกว่า อะการ์ ซึ่งสกัดจากสาหร่าย โดยอาจจะมีลักษณะเป็นเส้นยาวๆ หรือเป็นผง นอกจากนี้ยังมีชนิดอื่นๆที่อาจสกัดจากต้นไม้ จุลินทรีย์ หรือสาหร่าย ซึ่งก็มีชื่อเรียกต่างๆกันไป เช่น คาร์ราจีแนน แชนแทนกัม เป็นต้น ซึ่งทั้ง เจลาติน และ อะการ์เป็นโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายใช้ประโยชน์ไม่ได้เลย

สารที่ทำให้เกิดเจลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ส่วนใหญ่มักจะเป็น เพคติน เจลาตินและคาร์ราจีแนน

2.1.3.1 เพคติน ในการผลิตเยลลี่โดยใช้เพคตินเป็นสารช่วยให้เกิดเจล

มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ

- 1) เพคติน สกัดได้จากกากผลไม้และ citrus fruit pulp ซึ่งเพคตินเป็น โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่ประกอบด้วย D-galacturonic acid จำนวนมากต่อเชื่อมกันเป็นสายพอลิเมอร์ด้วยพันธะ α -1,4 glycosidic เป็นสายหลัก และมีสายโซ่แขนงเป็น L-arabinose และ D-galactose (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, 2540; Glicksman, 1982)

เพคตินสามารถแบ่งตามค่า Degree of esterification (DE) ได้เป็น

- 1.1 High-methoxy pectin (HM) มีค่า $DE \geq 50\%$ และจะเกิดเป็น เจลเมื่อมีของแข็งที่ละลายได้ (soluble solid) มากกว่า 55%
- 1.2 Low-methoxy pectin (LM) มีค่า $DE < 50\%$ การเกิดเจลจะต้องมี แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ร่วมด้วย และต้องมีของแข็งที่ละลายได้ในช่วง 10-20 %

2) น้ำตาล (Sugar) มักจะใช้น้ำตาลซูโครส ช่วยในการเกิดเจล โดยสันนิษฐานว่า

2.1 น้ำตาลจะเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bond) กับเพคติน ทำให้เกิดเป็น

เจลได้ หรือ

2.2 น้ำตาลซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) มาก จึงเกิด

พันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของเพคตินอิสระเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในเพคตินเอง จึงเกิดเป็นเจลได้

3) กรด (Acid) กรดที่ใช้มักเป็นกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ กรดที่นิยมใช้

คือ ซิตริก ทาร์ทาริก และ แลคติก เป็นต้น โดยกรดจะช่วยในการเกิดเจลของเพคติน เพราะในสภาวะที่เป็น pH สูง (กรดต่ำ) หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) บนโมเลกุลของเพคตินจะแตกตัว เป็น COO^- และ H^+ ทำให้โมเลกุลมีประจุ โมเลกุลที่มีประจุเดียวกันจะเกิดการผลักกัน ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ยากและไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ ดังนั้นกรดจะช่วยลดการแตกตัว ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน และเกิดเจลได้ง่ายขึ้น โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะเกิดเจลได้ดีที่ pH เป็น 3.1-3.2 หรือ มีความเป็นกรด (acidity) ในช่วง 0.6-0.8 % (Cruess, 1958)

4) น้ำ (Water) ให้เป็นตัวทำละลายองค์ประกอบต่างๆที่กล่าวถึง

เรียกการเกิดเยลลี่ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบดังกล่าวว่า Pectin-Sugar-Acid-Water system ซึ่งมีกลไกการเกิดเจลเป็นดังนี้

เพคตินซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่มีประจุเป็นลบ (negative charged colloid) เมื่อเติมน้ำตาลลงไปจะสร้าง pectin-water equilibrium และเกิดการ destabilize ทำให้เพคตินเกิดการตกตะกอนและเกาะรวมตัวกันสร้างเป็นโครงสร้างของไฟเบอร์ (network of fiber) ซึ่งโครงสร้างที่ได้สามารถที่จะ support liquid ไว้ได้ ซึ่งความต่อเนื่องของโครงสร้าง และความหนาแน่นของไฟเบอร์ จะขึ้นกับความเข้มข้นของเพคติน โดยความเข้มข้นของเพคตินสูงจะให้โครงสร้างที่ต่อเนื่อง และให้ไฟเบอร์ที่

มีความหนาแน่นมากกว่าพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้ความแข็งแรงของโครงสร้างยังขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำตาล และความเป็นกรด โดยน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงจะ support liquid ได้น้อยทำให้โครงสร้างไม่แข็งแรง สภาวะที่มีความเป็นกรดสูงจะให้เจลที่เหนียว แต่ถ้ามีความเป็นกรดสูงมากเกินไปจะเกิดการทำลายโครงสร้างโดยการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของพอลิเมอร์ ส่วนสภาวะที่มีความเป็นกรดต่ำจะให้เจลที่ไม่แข็งแรง (weak gel) ซึ่งไม่สามารถที่จะ support liquid ได้ ทำให้เกิดเจลทรุด (gel slump) ได้ (Thaveesook, 1997)

2.1.3.2 เจลาติน เป็นโปรตีนที่ได้จากคอลลาเจน (collagen) ของสัตว์ ประกอบด้วย

ด้วย กรดอะมิโน (amino acid) คือ ไกลซีนโพรลีน (glycine proline) โพรลีน (proline) และไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) เนื่องจากโมเลกุลของเจลาตินมี polar residue มากจึงทำให้มี affinity ต่อน้ำมาก และเพราะว่าโมเลกุลของเจลาตินมีโพรลีน และไฮดรอกซีโพรลีน มาก ดังนั้นโมเลกุลของเจลาตินจึงไม่สามารถขดเป็นรูปร่างแบบ helical ได้เหมือนกับลักษณะของโปรตีนทั่วไป แต่โมเลกุลของเจลาตินมีลักษณะยาวและบางซึ่งเป็นลักษณะที่ทำให้เกิดเจลได้ (Charley, 1970; Glicksman, 1982)

กลไกการเกิดเจลของเจลาตินมีความคล้ายคลึงกับการเกิดเจลของคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆโดยโมเลกุลจะเกิดการเชื่อมพันธะมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย กลไกการเกิดเจลของเจลาติน เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงจาก random coil ไปอยู่ในลักษณะเฮลิคัล (random coil-helix reversion) เมื่อทิ้งไว้ให้เย็น ส่วนที่เป็นกรดอะมิโนในแต่ละสายของโพลีเปปไทด์จะเกิดการสร้างโครงสร้างแบบเฮลิคัล (helix conformation) ด้วยพันธะไฮโดรเจนและเชื่อมต่อกันเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติได้เจลชนิดที่ผันกลับได้โดยความร้อน (thermoreversible gel) (อดิศักดิ์ เอกโสภาวรรณ, 2540)

2.1.3.3 คาร์ราจีแนน เป็นโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตอีกชนิดหนึ่งที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง คือ *Chondrus crispus* และ *Gigartina stella* แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แคปป์ (kappa) ไอโอด้า (iota) และแลมบ์ด้า (lambda) แคปป์และไอโอด้าเท่านั้นที่มีสมบัติเกิดเจลได้เมื่อมีโปแตสเซียมไอออน ส่วนแลมบ์ด้าเกิดเจลไม่ได้ (Graham, 1978) คาร์ราจีแนนมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) ที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยกรดซัลฟูริกที่ตำแหน่งและระดับต่างๆกัน คาร์ราจีแนนละลายได้ดีและมีความคงตัวที่ pH สูงกว่า 7 ถ้า pH ต่ำกว่า 7 ความคงตัวจะลดลงโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในภาวะที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูงแคปป์และไอโอด้าคาร์ราจีแนนยังคงละลายได้ดีเมื่อได้รับความร้อนเพียงพอ โดยแคปป์ และไอโอด้าคาร์รา-

จีแนจะเกิดเจลแบบ thermo-reversible กลไกการเกิดเป็น double-helix-carrageenan polymers (Sharma, 1981) ทั้งแคปปา และไอโอตาคาร์ราจีแนไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ในรูปสารละลายจะมีโครงสร้างเป็น random coil เมื่อทำให้เย็นจะเกิดเป็นตาข่ายโพลีเมอร์ 3 มิติ แต่สายของโพลีเมอร์จะรวมตัวใกล้กันเกิดเป็น junction point เมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการแข็งตัวของเจล (Glicksman, 1979) แคปปาคาร์ราจีแนจะเกิดเจลที่เปราะ แตกง่าย และมีการขับน้ำ (syneresis) เกิดขึ้น ส่วนไอโอตาคาร์ราจีแนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นและไม่เกิด syneresis การผสมคาร์ราจีแนทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันจะช่วยให้สมบัติในการเกิดเจลดีขึ้น เจลมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นและเกิด syneresis น้อยลง ดังนั้นในทางการค้าจึงผสมคาร์ราจีแนทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ทำให้สมบัติในการเกิดเจลดีขึ้นและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารพวก dessert gels

แต่ในการผลิตเยลลี่โดยใช้เจลาติน เพคติน และ คาร์ราจีแนเป็นสารช่วยให้เกิดเจล ก็พบปัญหาในการผลิต คือ

1) Gelatin jelly เยลลี่ที่ผลิตโดยใช้เจลาตินเป็นสารช่วยให้เกิดเจล จะให้กลิ่นที่ไม่ดีเนื่องจาก เจลาติน สกัดมาจากสัตว์จึงทำให้มีกลิ่นซึ่งกำจัดออกไปไม่หมดหลงเหลืออยู่ เวลาทำผลิตภัณฑ์ต้องเติม สีและกลิ่นรสลงไปแต่เจลาตินจะจับกับกลิ่นรส (flavor) ได้ดีมากจึงทำให้เวลารับประทานจะได้กลิ่นน้อย ดังนั้นเวลาผลิตเยลลี่ต้องใส่กลิ่นรสลงไปปริมาณมาก และเนื่องจากเจลาตินเป็นโปรตีนจึงมีความไวต่อความร้อนและกรด เมื่อให้ความร้อนสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะเกิดการ denature ได้ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ผลิตจากเจลาติน เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานานๆจะมีลักษณะที่แห้งและเหนียวเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำไป

2) Pectin jelly เยลลี่ที่ผลิตโดยใช้เพคตินเป็นสารช่วยให้เกิดเจล ในการเซ็ทตัวจะขึ้นอยู่กับน้ำตาลและกรด และสามารถที่จะเกิด pregelling ได้ (pregelling คือการเซ็ทตัวก่อนที่จะขึ้นรูปหรือใส่พิมพ์) ซึ่งจะไม่สามารถนำมาให้ความร้อนซ้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้

3) Carrageenan jelly เยลลี่ที่ผลิตโดยใช้คาร์ราจีแนเป็นสารช่วยให้เกิดเจล จะมีความแข็งและเปราะ เกิดการ syneresis ได้ง่าย

2.2 แป้งบุก (Konjac flour)

แป้งบุกหรือทางประเทศญี่ปุ่นเรียกว่าแป้งคอนยัค (konjac flour) สามารถผลิตได้จากหัวบุก หรือหัวบุก ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Amorphophallus spp.* เป็นพืชในตระกูล Araceae และมีชื่อทางภาษาอังกฤษว่า Elephant Yam, Elephant Foot Yam, Sweet Yam และ Elephant Bread มีมากกว่า 90 -100 สปีชีส์ เจริญได้ดีในเขตร้อน พบ 63 สปีชีส์ ในทวีปแอฟริกา ทวีปออสเตรเลียพบ 5 สปีชีส์ และ 62 สปีชีส์ในทวีปเอเชีย (Sakai, 1983) ซึ่งพบที่ประเทศจีน และ ญี่ปุ่น เป็นบุกพันธุ์ญี่ปุ่น (*Amorphophallus konjac*) นอกจากนี้ยังพบใน อินเดีย และฟิลิปปินส์ ในประเทศไทยพบมากกว่า 10 สายพันธุ์และพบได้หลายภาค เช่น บุกคางคก (*Amorphophallus campanulatus*) บุกไข่หรือบุกพันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus oncophyllus*) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่พบสารกลูโคแมนแนน (glucomannan) มากกว่าพันธุ์อื่น (สุวศรี เตชะภาส, 2542) นอกจากนี้ยังมี *Amorphophallus variabilis*, *Amorphophallus rivieri* และ *Amorphophallus linearis* ประเทศไทยมีบุกทั้งชนิดหัวกลม และหัวยาวประมาณ 45 ชนิด ส่วนใหญ่นำต้นอ่อนหรือช่อดอกมาปรุงอาหารตามฤดูกาล พบมากแถบจังหวัดลำปาง พะเยา ตาก เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน กำแพงเพชร กาญจนบุรี และ ประจวบคีรีขันธ์ (บุบผา ธรรมมากุล, 2535; Singhavanich and Patanawong, 1992)

บุกเป็นพืชล้มลุกใช้รากในการสะสมอาหาร ซึ่งมีสารกลูโคแมนแนน สะสมอยู่ในหัวบุกสด อายุ 3 ปี จะมีกลูโคแมนแนนอยู่ประมาณ 60-80 % แคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) อยู่ประมาณ 10-20 % ซึ่งเป็นสารเค็มน้ำ บุกเป็นพืชที่ทนต่อสภาพแวดล้อม สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกประเภท แต่บุกชอบดินร่วน น้ำไม่ขังและมีอินทรีย์วัตถุ แต่ไม่ชอบแดดแรง ขนาดของหัวจะใหญ่หรือเล็กขึ้นกับสภาพดินและอากาศ โดยทั่วไปมีลำต้นใต้ดิน ส่วนที่โผล่มาเหนือพื้นดินคือ ก้านใบแต่มักเรียกกันว่าต้น บางชนิดก้านโผล่จากดินแล้วแผ่เป็น 3 ทาง มีรูปทรงแผ่กว้าง บางชนิดก้านใบโผล่ตรงเดี่ยวขึ้นมาจากกลางหัวบุก มีสีเขียวเข้ม บางชนิดมีลักษณะอวบน้ำ บางชนิดมีก้านใบเป็นหลอดยาวทั้งลายเส้นตรง ลายกระสลับสี ลายต่างสลับสี บางชนิดมีสีเขียวล้วน น้ำตาลล้วน บางชนิดมีหนามอ่อน ใบคล้ายใบมะละกอ ดอกคล้ายดอกหน้าวัว มีสีและรูปร่างต่างกันไปตามพันธุ์ โดยธรรมชาติบุกจะมีดอกในช่วงปลายฤดูแล้ง และสามารถออกดอกได้ในเวลาต่างกัน ผลบุกอ่อนมีสีขาวอมเหลือง เมื่ออายุ 1-2 เดือนจะมีสีเขียวเข้ม ผลบุกแต่ละชนิดจะมีลักษณะคล้ายกัน (สุวศรี เตชะภาส, 2542) สามารถขยายพันธุ์ได้ด้วยเมล็ดหรือการแบ่งหัว โดยหั่นหัวบุกเป็น 4 ส่วนหรือมากกว่าโดยผ่าตามแนวแกนกลางแล้วนำเอาหัวไปฝังในดิน ซึ่งวิธีการแบ่งหัวบุก

จะเจริญได้เร็วกว่ามาก การเก็บเกี่ยวบุกจะเก็บเกี่ยวในช่วงปลายเดือนสิงหาคม จนถึง เดือน พฤศจิกายน (บุบผา ธรรมมากุล, 2535; สหชลผลพืช, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะต้นบุก
ที่มา: สหชลผลพืช (ม.ป.ป.)

ลักษณะของบุกที่พบในประเทศไทย

1. บุกไซ้ หรือ บุกเนื้อทราย (*A. oncophyllus*)

หัวบุกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ใบขนาดใหญ่ประมาณ 1 เมตร ก้านใบยาว 90 เซนติเมตร และหนา 2.5 เซนติเมตร ช่อดอกยาว 20 เซนติเมตร มีกาบหุ้ม บุกพันธุ์นี้แยกจากบุกพันธุ์อื่นได้ง่าย คือรูปร่างของหัวซึ่งกลมแบน มีรูลึกตรงกลาง หัวสดมีสีต่างๆ ได้แก่ เหลืองอมชมพู และขาวเหลือง เป็นต้น ก้านใบมีสีต่างๆ ได้แก่ เขียว เขียวมีจุดขาว เขียวทางขาว และเขียวชมพูปน บุกพันธุ์นี้มีกลูโคแมนแนนสูงมากถึง 55 % พบมากทางภาคตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ กาญจนบุรี กำแพงเพชร ตาก และ พะเยา ชาวพื้นเมืองใช้เป็นอาหาร

2. บุกคางคก (*A. campanulatus*)

บุกพันธุ์นี้มีขนาดใหญ่ อาจสูงถึง 2 เมตร โดยเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ถึง 10 เซนติเมตร หัวกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 12 นิ้วขึ้นไป โดยมีรากเล็กๆอยู่รอบหัว หัวสดที่โตเต็มที่อาจหนักถึง 10 กิโลกรัม เนื้อสีชมพู ขยายพันธุ์ได้ง่ายเพราะมีต้นอ่อนแตกจากตาของหัวแม่มาก ก้านใบใหญ่ สีเขียวมีต่างขาวเรียว หรือขรุขระเล็กน้อย ดอกจะมีก้านยาวและให้เมล็ดทุก 2 ปี บุกพันธุ์นี้ไม่มีสารกลูโคแมนแนน แต่มีปริมาณแป้งสูงถึง 77 %

3. บุกต่าง (*A. kerrii*)

บุกพันธุ์นี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-15 เซนติเมตร ผิวมัน ใบเดี่ยวแยกเป็นส่วน ก้านใบยาว 1 เมตร ช่อดอกยาว 15 - 30 เซนติเมตร กว้าง 7 - 11 เซนติเมตร มีกาบหุ้ม หัวกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5-15 เซนติเมตร ผิวขรุขระ มีสีน้ำตาล หัวสดมีสีเหลือง เหลืองสด หรือขาว ตันมีสีเข้มจุดขาว พบแถบจังหวัดน่าน เชียงใหม่ เลย และกาญจนบุรี มีกลูโคแมนแนนแต่ไม่สูงเท่าพันธุ์เนื้อทราย ซึ่งแสดงได้ดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของหัวบุกพันธุ์ต่างๆ

| พันธุ์ | น้ำ | น้ำหนักแห้ง | สตาร์ช | กลูโคแมนแนน |
|------------------------|------|-------------|--------|-------------|
| <i>A. campanulatus</i> | 70.1 | 29.9 | 77 | 0 |
| <i>A. variabilis</i> | 78.4 | 21.6 | 27 | 44 |
| <i>A. oncophyllus</i> | 79.7 | 20.3 | 2 | 55 |
| <i>A. rivieri</i> | 80.8 | 19.2 | 10.6 | 64 |

ที่มา : Sakai (1983)

สถานการณ์ทางธุรกิจของหัวบุก (สหชลผลพืช, ม.ป.ป.; มงคล เกษประเสริฐ, 2542)

ธุรกิจซื้อขายหัวบุกป่าได้เริ่มขึ้นในประเทศไทยเมื่อปี 2527 และขยายตัวอย่างรวดเร็วจากรดับ 750 ตัน จนถึงสูงสุด 5,000-6,000 ตัน ในปี 2532 จากนั้นราคาในท้องถิ่นเริ่มขยับตัวสูงขึ้น และมีการแข่งขันมากขึ้นใน ปี 2534 ผู้ประกอบการหลายรายหยุดกิจการ ปัจจุบันเหลือเพียง 2 บริษัทที่ยังดำเนินการแปรรูปทางอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก และจำหน่ายในประเทศ ซึ่งมีปริมาณการซื้อขายอยู่ในระดับ 3,000 ตันต่อปีมาโดยตลอด จนถึงปี 2541 ธุรกิจบุกเจริญขึ้นจนปริมาณการซื้อขายขยับสูงขึ้นเป็น 4,000-5,000 ตัน

ปัจจุบันมีโรงงานรับซื้อหัวบุกเพื่อการแปรรูปทางอุตสาหกรรมอยู่ 2 โรงงาน คือ

- บริษัทสหชลผลพืช ตั้งอยู่ที่ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี รับซื้อในราคาหน้าโรงงาน กิโลกรัมละ 4.50-5.50 บาท ช่วงรับซื้อตั้งแต่ปลายเดือนสิงหาคม ถึงเดือนตุลาคม หรือมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตที่จะส่งให้โรงงาน

- บริษัทสยามคอนยัค ตั้งอยู่ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน รับผิดชอบต่อราคาหน้าโรงงาน กิโลกรัมละ 3.00-4.50 บาท (แต่ถ้าปลุกนอกเขตป่าจะเพิ่มค่าขนส่งตามระยะทางสู่โรงงาน)

การผลิตแป้งบุก

หัวบุกสดโดยทั่วไปจะมีน้ำประมาณ 80-90 % และส่วนที่เป็นของแข็ง 10-20 % ซึ่งในส่วนที่เป็นของแข็งประกอบด้วยสารกลูโคแมนแนนประมาณ 60-80 % และส่วนที่เหลืออีกประมาณ 20-40 % จะเป็นสารเจือปน (tachiko component) ที่จำเป็นต้องกำจัดออก ซึ่งได้แก่ แป้ง (starch) โปรตีน และสารระคายเคือง (irritant) เป็นต้น การผลิตแป้งบุกสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี (Shimizu และ Shimahara, 1973) คือ

1. การผลิตแบบแห้ง (Dry milling)
2. การผลิตแบบเปียก (Wet milling)
3. การผลิตแบบผสม (Combined milling)

1. การผลิตแบบแห้ง (Dry milling)

การผลิตแบบแห้งทำได้โดย นำหัวบุกมาล้างแล้วนำมาหั่นให้เป็นแผ่นบางมีความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร แล้วนำไปทำแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 15 % โดยนำไปตากแดดหรืออบโดยใช้ความร้อน จากนั้นนำหัวบุกที่แห้งแล้วไปทำการบดให้อนุภาคแยกจากกัน แล้วแยก impurities โดยใช้การเป่าด้วยลม (air classification)

ผลผลิต (yield) ที่ได้จากวิธีนี้ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเกิดการสูญเสียแป้งบุกไปบางส่วนในกระบวนการเป่าแยกด้วยลม และต้องใช้เวลาในการบดแยกอนุภาค เนื่องจากหัวบุกที่นำไปทำแห้งมีลักษณะแข็ง ทำให้บดอนุภาคแยกจากกันได้ยาก

2. การผลิตแบบเปียก (Wet milling)

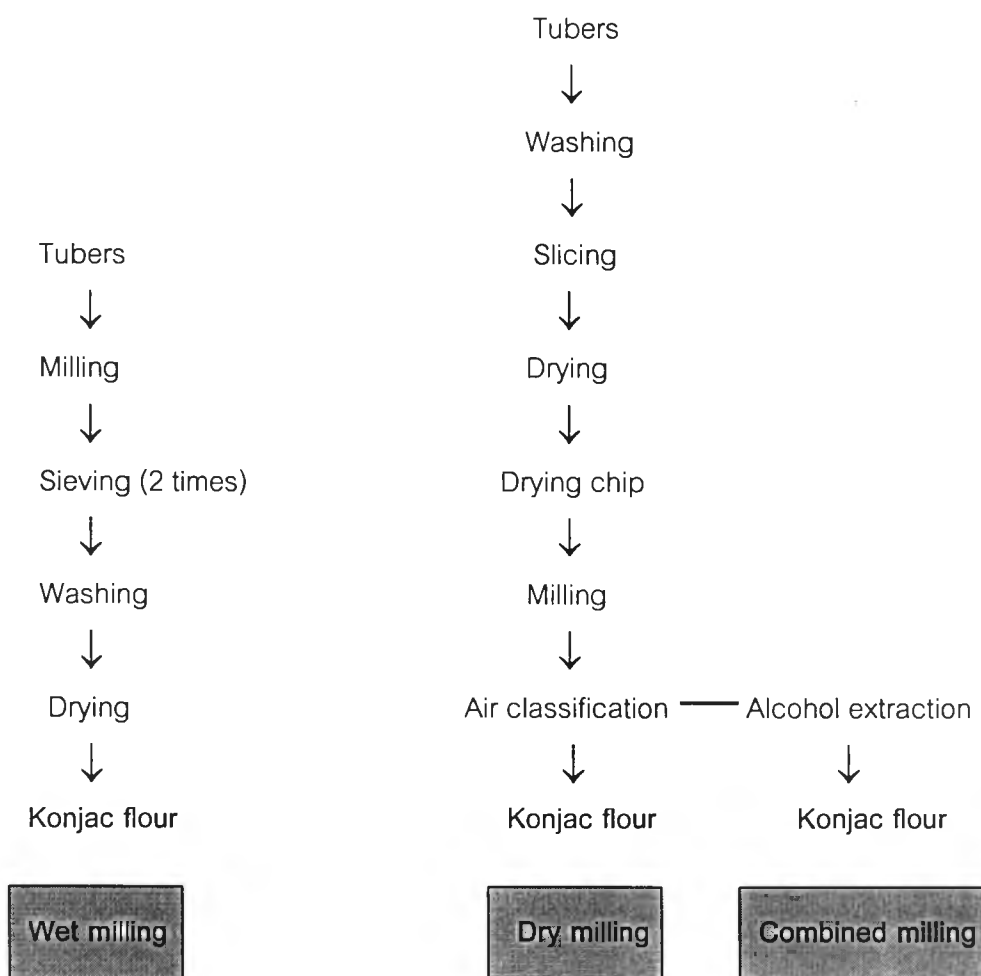
การผลิตแบบเปียกทำได้โดย นำหัวบุกมาบดให้อนุภาคแยกจากกันในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (water - miscible organic solvent) เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ แล้วร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100-120 เมช 2 ครั้ง แล้วล้างส่วนที่เป็นแป้งบุกด้วยสารละลายข้างต้นจนได้แป้งที่มีสีค่อนข้างขาว แล้วจึงนำไปทำการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส

แป้งนุกที่ได้จากการผลิตแบบเปียกจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าการผลิตแบบแห้ง และใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่า แต่ผลผลิตที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ และคุณภาพไม่สม่ำเสมอกัน เข้าใจว่าเกิดขึ้นเนื่องจากมี impurities ติดอยู่ที่อนุภาคของแป้งนุกมาก มีผลทำให้คุณสมบัติในการรวมกับน้ำของแป้งนุกลดลง

3. การผลิตแบบผสม (Combined milling)

การผลิตแบบผสมทำได้โดย นำแป้งนุกที่ได้จากการผลิตแบบแห้งมาผ่านการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ ซึ่งในการผลิตแบบนี้จะให้ผลผลิตสูง และแป้งนุกที่ได้มีคุณภาพดี สม่ำเสมอ และมีคุณสมบัติในการรวมกับน้ำเพิ่มขึ้น

ขั้นตอนผลิตแสดงดังภาพที่ 2.2



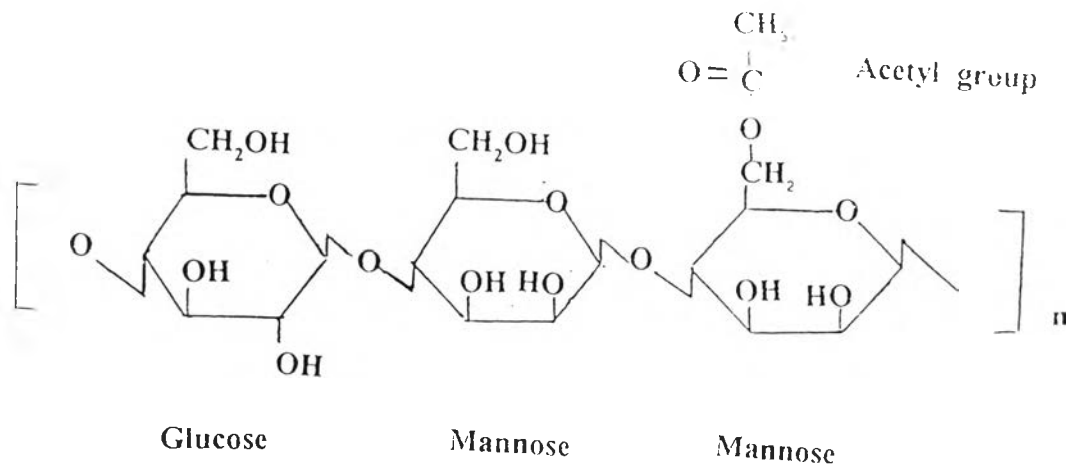
ภาพที่ 2.2 กรรมวิธีการผลิตแป้งนุก

ที่มา : Singhavanich และ Patanawong (1992)

องค์ประกอบของแป้งบุก

แป้งบุกประกอบด้วยสารน้ำหนักโมเลกุลสูง คือ กลูโคแมนแนน (glucomannan) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย แมนโนส (mannose) และ กลูโคส (glucose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4 glycosidic ในอัตราของแมนโนสต่อกลูโคสเป็น 1.6:1 มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300,000 ดาลตัน และมีหมู่อะซิทิล (acetyl group) กระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ซึ่งหมู่อะซิทิลจะมีผลต่อการละลายน้ำและการเกิดเจลของแป้งบุก (Tye, 1991; Thomas, 1997)

โครงสร้างของกลูโคแมนแนนแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของกลูโคแมนแนนในแป้งบุก

ที่มา : Tye (1991)

Kato และ Matsuda (1972) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนน โดยใช้กรดซัลฟูริก และเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ย่อยแป้งบุก แล้วนำไปแยกส่วนพบว่ากลูโคแมนแนนในแป้งบุกมีหน่วยต่อเนื่องของโมเลกุลน้ำตาล 2 แบบ คือ

กลูโคแมนแนน A: -G-G-M-M-M-M-G-M-

กลูโคแมนแนน B: -M-G-M-M-M-M-G-G-

| | | | | | | |
|-------|-----|-----|---------------------------|-----|-----|------------|
| เมื่อ | G | คือ | D-glucopyranosyl residues | | | |
| | M | คือ | D-mannopyranosyl residues | | | |
| | G-M | คือ | Epicellobiose | M-M | คือ | Mannobiose |
| | M-G | คือ | Mannosylglucose | G-G | คือ | Cellobiose |

สมบัติของแป้งบุก (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, 2538ก; Tye, 1991)

จากการที่แป้งบุกประกอบด้วย แมนโนส และ กลูโคส ต่อกันเป็นสายยาวนี้เอง จึงทำให้แป้งบุกมีสมบัติต่างไปจากแป้งที่ได้จากธัญพืชและพืชหัวอื่นๆ เนื่องจากแป้งของพืชหัวอื่นจะประกอบด้วย อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพคติน (amylopectin) ที่โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส ดังนั้นจึงทำให้แป้งบุกมีสมบัติดังนี้ (Tye, 1991)

1) ความข้นหนืด (Water thickening)

เมื่อนำแป้งบุกมาละลายน้ำอุณหภูมิของแป้งจะดูดซับน้ำเข้าไว้ แล้วเกิดการพองตัวได้ 20-30 เท่า ทำให้ได้สารละลายที่มีความข้นหนืดเพิ่มขึ้นทำให้ได้สารละลายที่มีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น ลักษณะโซล (sol) ของแป้งบุกจะเป็นแบบซูโดพลาสติก (pseudoplastic) อัตราการดูดซับน้ำ (hydration) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้อัตราการดูดซับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว มีผลทำให้ความข้นหนืดเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน

2) สมบัติในการเกิดเป็น pseudoplastic

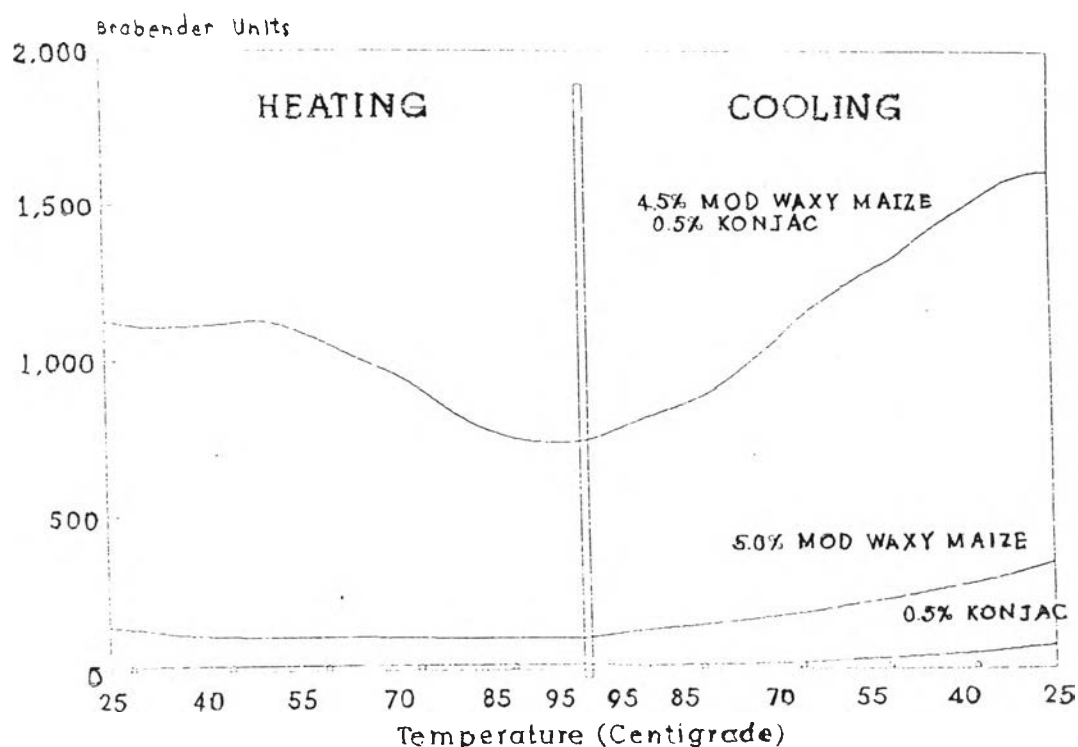
เนื่องจากกลูโคแมนแนนประกอบด้วย macromolecule ที่เป็นสายยาวอยู่ในแกรนูล (granule) เมื่อแกรนูลดูดซับน้ำเข้าไปจะบวมขึ้นจนกระทั่งผนังชั้นนอกแตกออกโมเลกุลที่อยู่ในแกรนูลจะหลุดออกมาและจัดตัวกลายเป็น pseudoplastic solution

3) การเกิดฟิล์ม (Film formation)

เมื่อสารละลายแป้งบุกเกิดการสูญเสียน้ำ หรือนำไปทำแห้งจะได้ฟิล์มที่มีลักษณะเหนียว (tough film) ซึ่งฟิล์มนี้มีเสถียรภาพทั้งในน้ำร้อน น้ำเย็น หรือในระบบที่เป็นกรดและด่างได้ดี

4) ความหนืด (Viscosity)

แป้งบุกถูกนำมาใช้ร่วมกับแป้งหรือใช้ร่วมกับกัมชนิดอื่นๆ และสารให้ความคงตัว (stabilizer) เพื่อเพิ่มความหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นรส (organoleptic) แป้งบุกยังส่งผลให้ความหนืดของแป้งหรือไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ร่วมด้วยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก และรักษาค่าความหนืดของระบบให้คงที่ทั้งในกระบวนการให้ความร้อน และการให้ความเย็น เช่น การใช้แป้งบุกร่วมกับ modified waxy maize starch เป็นต้น ดังรูปที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ผลของแป้งบุกต่อ cooking property ของ modified waxy maize starch

ที่มา : Tye (1991)

5) การเกิดเจล (Gel formation)

การเกิดเจลของแป้งบุกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

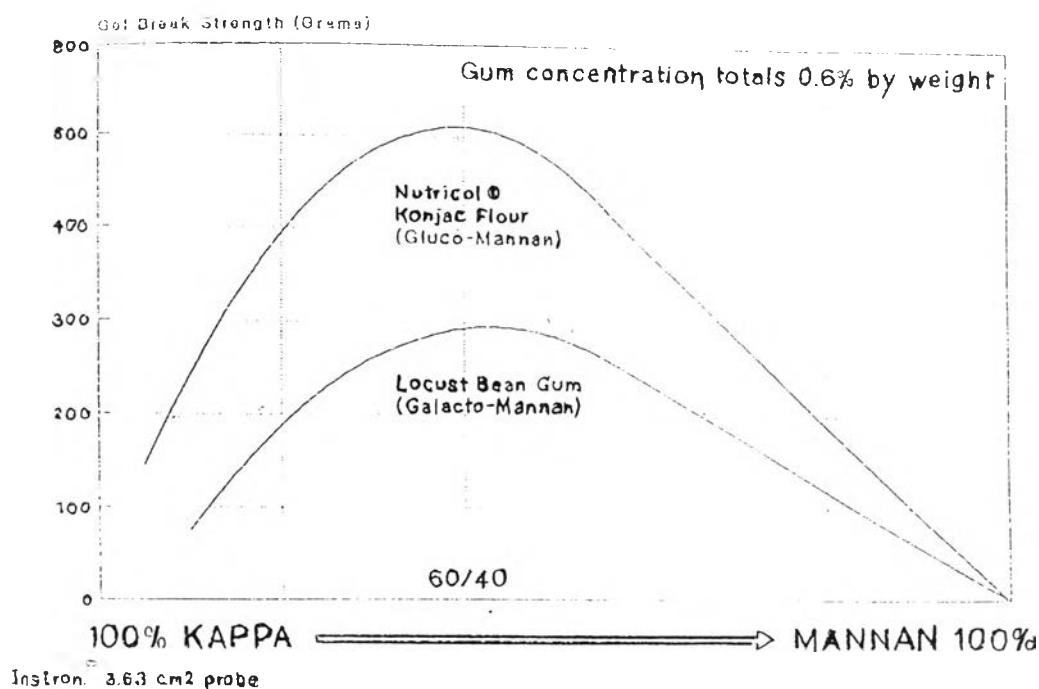
5.1 การใช้สารละลายต่างในการเกิดเจล

สารละลายต่างจะช่วยในการเกิดเจลของแป้งบุก เนื่องจากธรรมชาติของแป้งบุกจะไม่สามารถเกิดเจลได้ เพียงแต่สามารถรวมตัวกับน้ำและเกิดการพองตัวได้เป็นสารละลายที่ข้นหนืดเท่านั้น (Tye, 1991) ที่แป้งบุกไม่สามารถเกิดเจลได้ก็เนื่องจากหมู่อะซิทิลที่กระจายอยู่ทั่วไปบนสายของกลูโคแมนแนนซึ่งจะไปขัดขวางการรวมตัวกันของโมเลกุล ดังนั้นเมื่อเติมสารละลายต่างไป สารละลายต่างทำให้เกิดปฏิกิริยา deacetylation โดยจะไปจับกับหมู่อะซิทิลของกลูโคแมนแนนและหลุดออกในระหว่างที่เกิดเจล ทำให้เกิดการฟอร์มตัวเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติโดยพันธะไฮโดรเจน เจลที่ได้มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถผันกลับได้ด้วยความร้อน (thermoreversible gel) (Maekaji, 1978) สารละลายต่างที่นิยมใช้ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และแคลเซียมคาร์บอเนต (Nozaki and Sakurai, 1992) แต่การใช้สารละลายต่างในการเกิดเจลนั้นทำให้เกิดปัญหา เช่น เจลที่ได้มีค่า pH สูง

มีกลิ่นต่างตกค้าง เกิดการสูญเสียได้ง่าย และขั้นตอนการเตรียมเจลค่อนข้างยาก ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญพิเศษในการผสม นวด และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

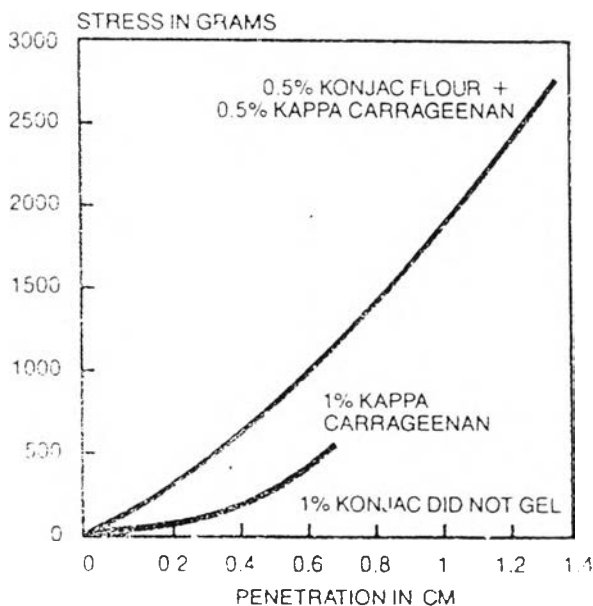
5.2 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อช่วยในการเกิดเจล

5.2.1 การเกิดเจลเมื่อใช้ร่วมกับแคปป์ปาคารราจีแนน (Kappa carrageenan) แคปป์ปาคารราจีแนนทำให้สารละลายแป้งบุกเกิดเป็นเจลได้ (Shelso, 1990; Williams et al., 1992) โดยเจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่นสูง มีความแข็งแรงของเจลมากกว่าเดิมถึง 4 เท่า และผันกลับได้โดยความร้อน (thermal reversible gel) อัตราส่วนของปริมาณการใช้แป้งบุกร่วมกับแคปป์ปาคารราจีแนนมีผลทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงแตกต่างกัน โดยอัตราส่วนระหว่างแคปป์ปาคารราจีแนนและกลูโคแมนแนนที่ให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงอยู่ในช่วง 70:30 ถึง 50:50



ภาพที่ 2.5 ความแข็งแรงของเจลผสมระหว่างแคปป์ปาคารราจีแนนและแป้งบุกเทียบกับเจลผสมของแคปป์ปาคารราจีแนนและโลคัสบีนกัน

ที่มา : Tye (1991)



ภาพที่ 2.6 ผลเสริมของแป้งบุกที่มีต่อเจลของคาร์ราจีแนน

ที่มา : Thomas (1997a)

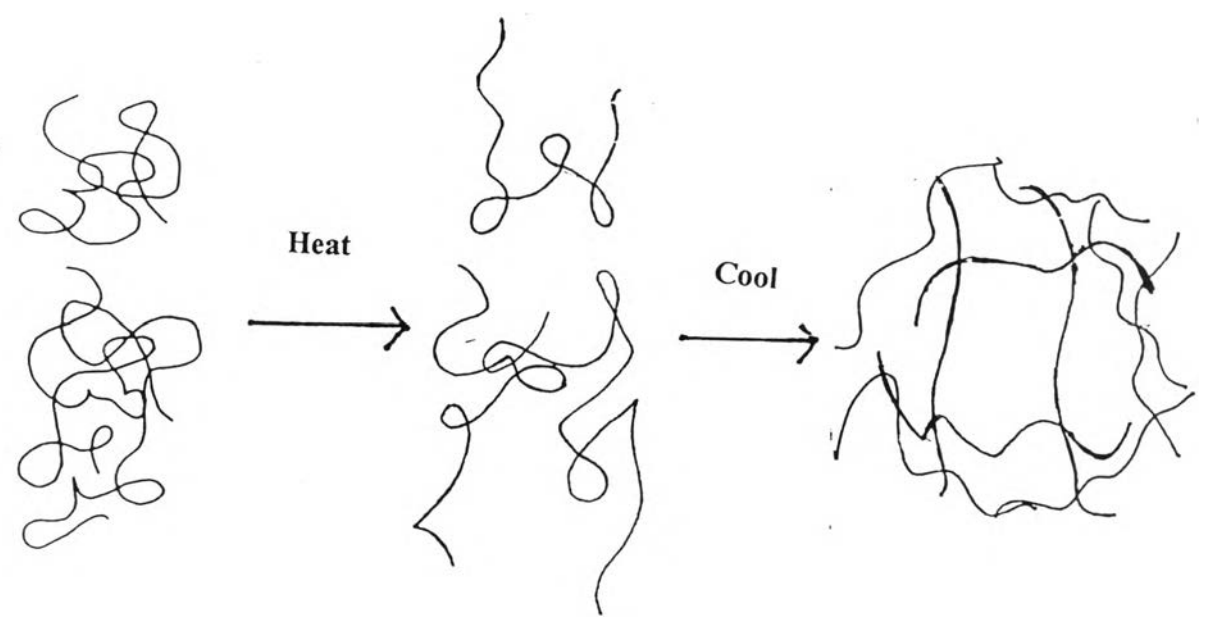
5.2.2 การเกิดเจลเมื่อใช้ร่วมกับแซนแทนกัม (Xanthan gum) โดยทั่วไปแล้วแป้งบุกไม่สามารถเกิดเจลเองได้แต่เมื่อใช้ร่วมกับแซนแทนกัมจะสามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้ ในลักษณะส่งผลเสริมกัน (Dickinson, 1991) จึงทำให้สารละลายผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และสามารถเกิดเจลได้ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.2 % เจลที่ได้เป็นเจลที่ไม่ผันกลับโดยความร้อน (thermal irreversible gel) มีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงของเจลแตกต่างกันไปขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างกลูโคแมนแนนและแซนแทนกัมที่ใช้ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็น 70:30 ถึง 60:40

การเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์

การเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์จะมีลักษณะเป็นกึ่งของแข็ง (semisolid) ซึ่งโดยทั่วไป เจลจะเป็นลักษณะของโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลเป็นสาย (random coil) เมื่อสารละลายเย็นตัวลงจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ผ่านช่วงที่เรียกว่า โซลเป็นเจล การเกิดเจลในขั้นแรกต้องมีความร้อนมาเกี่ยวข้อง ซึ่งความร้อนจะทำให้โมเลกุลเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะแรก เมื่อให้ความร้อนโมเลกุลจะยืดตัวออกโดยพันธะที่มีอยู่ตามธรรมชาติได้แตกออกบางส่วน ทำให้โมเลกุลของโพลีเมอร์ยืดออก โดยใช้อุณหภูมิสูง

ระยะที่สอง เมื่อนำมาทำให้เย็นโมเลกุลที่ยืดออกจะจับตัวกันเป็นเกลียวตามลำดับโพลีเมอร์อย่างซ้ำๆ โดยใช้พันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic bond) พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) พันธะไฮโดรเจน และพันธะอิออนิก (ionic bond) การรวมตัวกันเป็นเกลียวจำนวนมากจะทำให้เกิดสายคู่ (double helix) ในอะไมโลส อะการ์ คาร์ราจีแนน และเจแลน (gellan) ทำให้มีการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ เรียกว่า junction zone และมีโมเลกุลของตัวกลางคือน้ำซึ่งเคลื่อนที่ไม่ได้แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของอนุภาคภายในโครงร่าง ทำให้เจลแข็งตัวและมีรูปร่างที่แน่นอน (Whistler และ Daniel, 1990) ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ขณะที่เปลี่ยนจากโซลเป็นเจล ที่มา : Glicksman (1979)

โดยทั่วไปแล้วเจลที่ได้จากโพลีแซคคาไรด์อื่นๆเมื่อนำมาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่งๆ เจลจะแตกหรือเกิดการแยกตัวของโครงร่างตาข่ายโพลีเมอร์ (Polymer network) ทำให้สูญเสียความเป็นเจลไป แต่ในขณะที่แป้งบุกซึ่งมีสารที่สำคัญคือ กลูโคแมนแนน จะให้เจลที่ทนต่อความร้อน (thermal stability) ในภาวะที่มีด่างอ่อนๆเช่น โปแทสเซียมคาร์บอเนต เจลที่ได้มีความ

แข็งแรง และมีความคงตัวสูงเมื่อนำไปต้มในน้ำเดือด (Shimizu, 1974) การให้ความร้อนซ้ำแก่เจลมีส่วนทำให้เจลมีความแข็งแรงและมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น

การเกิดเจลโดยใช้สารละลายต่างของกลูโคแมนแนน เช่น โปแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะให้เจลที่มีความยืดหยุ่นและไม่ละลายน้ำ การฟอร์มเจลสามารถเพิ่มขนาดได้ถึง 10,000 เท่า และดูดซับน้ำไว้ในมี 2 แบบ คือ bound water และ free water แต่การใช้เกลือในการเกิดเจลเช่น โซเดียมซัลเฟต โซเดียมคลอไรด์ และ แอมโมเนียมซัลเฟต แทนสารละลายต่างสามารถเกิดเจลได้แต่โครงสร้างของเจลไม่แข็งแรง

Maekaji (1978) ศึกษาการเกิดเจลของกลูโคแมนแนน พบว่าต่างจะทำให้เกิดปฏิกิริยา deacetylation จับกับหมู่อะซิทิลของกลูโคแมนแนนและหลุดออกในระหว่างการเกิดเจล (วิเคราะห์โดย HPLC พบว่าหมู่ที่หลุดออกนั้นจะเป็นกรดอะซิติก) ทำให้เกิดฟอร์มตัวเกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติโดยพันธะไฮโดรเจน เจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่นสูง (elastic) คาดเดาว่าโครงสร้างของกลูโคแมนแนนเป็นแบบสาย (random coil) เจลสามารถผันกลับด้วยความร้อน (thermoreversible) แต่การใช้สารละลายต่างในการเกิดเจลนั้น ทำให้เกิดปัญหาบางประการ คือ เจลที่ได้มีค่า pH สูง จะมีกลิ่นต่างตากค้างอยู่มาก

ปัจจัยที่มีผลต่อการแข็งตัวของเจล

เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุชนิดเดียวกันอยู่ที่ผิว จึงเกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ยากที่อนุภาคคอลลอยด์จะเข้ามาใกล้กันและเกาะตัวกัน ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลช่วยให้อนุภาคคอลลอยด์เกาะตัวกันง่ายขึ้นจะช่วยเร่งการแข็งตัวของเจลด้วย ได้แก่

1. ธรรมชาติของไฮโดรคอลลอยด์ ไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์เกิดเจลได้ง่ายกว่าไฮโดรโฟบิกคอลลอยด์ เช่น เพคติน ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ในรูปของเจล เช่น แยม

2. ความเข้มข้นของอนุภาคคอลลอยด์ มีความสำคัญต่อการเกิดเจลถ้ามีความเข้มข้นสูง จะเกิดได้ง่ายกว่า แต่ต้องสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาด้วย ตัวอย่างเช่น สารละลายเจลาตินที่มีความเข้มข้น 2 % จะแข็งตัวภายใน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส แต่สารละลายเจลาตินมีความเข้มข้น 1 % จะแข็งตัวภายในเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

3. การลดอุณหภูมิของสารละลาย การลดอุณหภูมิลงจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ได้ช้าลง ช่วยให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกาะตัวกันได้เร็วขึ้น เจลจะแข็งตัวได้เร็วขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะทำให้เจลกลายเป็นโซล

4. ปัจจัยอื่นๆ เช่น กรด หรือ pH ความเข้มข้นของเกลือ และความเข้มข้นของ non-electrolyte มีอิทธิพลต่อการแข็งตัวของเจล เพราะ มีผลต่อ degree of hydration ของเจล เช่น ในการทำแยมและเยลลี่ pH ที่เหมาะสมประมาณ 3.0-3.8

5. อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ทำให้เจลเป็นของเหลวมักจะอยู่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เจลแข็งตัว ช่วงห่างของอุณหภูมิที่แตกต่างกันนี้เรียก " hysteresis "

6. การกวน มีผลต่อการแข็งตัวของเจล เพราะการกวนจะไปทำลายการเกาะตัวกันของโมเลกุลถ้ามีการกวนหลังจากที่เจลแข็งตัวเรียบร้อยแล้ว จะทำให้โครงสร้างของเจลแตก และมีของเหลวไหลออกมาขึ้น การทำให้ระบบคอลลอยด์ของเจลเปลี่ยนสถานะเนื่องจากการกวนหรือการเขย่าเรียกว่า " thixotropy "

7. Degree of hydration อนุภาคคอลลอยด์สามารถเปลี่ยนแปลง degree of hydration ได้โดยการเปลี่ยน pH ความเข้มข้นของเกลือ และ ความเข้มข้นของ non-electrolyte การเติมพวกกรดต่างที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 N จะทำให้เกิดเจลช้าลง ส่วนความเข้มข้นของเกลืออาจจะเป็นตัวเร่งหรือทำให้การเกิดเจลช้าลงได้ ขึ้นกับองค์ประกอบของอออนในเกลือ และชนิดของอออนที่ดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์

การเติมเกลือหรือกรดลงไปแล้วทำให้อนุภาคของคอลลอยด์มีประจุเกิดขึ้นจะทำให้อนุภาคผลักกันไม่เกาะตัวกัน ทำให้เกิดเจลช้าลง แต่ถ้าการเติมเกลือหรือกรดลงไปแล้วทำให้อนุภาคมีประจุลดลงจะมีผลช่วยให้เกิดเจลได้เร็วขึ้น

การขับน้ำออกจากเจล (Syneresis)

คือการไหลซึมออกมาของของเหลวที่เป็นส่วนประกอบของเจล โดยไม่คำนึงถึงความดันไอของเหลวที่ไหลออกมาเป็นไซลที่เจือจางมาก การเกิด syneresis พบมากในขนมหวานที่ทำด้วยเจลาติน ในนมเปรี้ยวที่แข็งตัว หรือลิมนม (curd) หรือในเนย เป็นต้น เนื่องจากการสะสมของเหลวอยู่ในโมเลกุล เมื่อเก็บในตู้เย็นจะมีการหดตัวเกิดขึ้นของเหลวก็จะไหลออกมา

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิด syneresis ได้แก่

1. pH มีอิทธิพลต่อ syneresis คือ syneresis จะเกิดมากที่สุดเมื่อ pH ของเจลอยู่ที่ pI ในการทำเยลลี่ต้องใช้ pH ที่เหมาะสมเพื่อให้เยลลี่แข็งตัวได้ดี
2. อุณหภูมิ มีผลต่อ syneresis แต่ไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอนเพราะ hydration และ อุณหภูมิไม่ได้มีผลในทางเดียวกัน
3. ความดัน มีอิทธิพลต่อ syneresis คือ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะเกิด syneresis มากขึ้น
4. ธรรมชาติของ dispersed phase มีผลต่อ syneresis เช่น สตาร์ชจะทำให้เกิด syneresis น้อยลงเมื่อมีความเข้มข้นมากขึ้น

การใช้โพลีแซคคาไรด์ร่วมกัน

การใช้โพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิด ผสมกันเป็นการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการผสมโพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิดร่วมกัน

| ชนิดที่ 1 | ชนิดที่ 2 |
|-------------------------------|-------------------------|
| K-carrageenan + Carob gum | HM pectin-LG aginate |
| K-carrageenan + Tara gum | Xanthan + Carob gum |
| K-carrageenan + Konjac mannan | Xanthan + Tara gum |
| Furcellaran + Carob gum | Xanthan + Konjac mannan |
| Furcellaran + Tara gum | |
| Furcellaran + Konjac mannan | |

ที่มา : Morris (1986)

การใช้โพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิดผสมกัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ชนิดที่ 1 ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดเจลได้เอง (gelling polysaccharide) เช่น แคปปาคารราจีแนน (K-carrageenan) ผสมกับโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดเจลไม่ได้ด้วยตัวเอง (non-gelling polysaccharide) เช่น คารอบกัม (Carob gum) ซึ่งโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดเจลไม่ได้ด้วยตัวเองจะจับกับโครงสร้างที่เป็นเกลียว (helical) ของโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดเจลเองได้ จากการศึกษาทาง X-ray diffraction พบว่าการจับกันนี้เองทำให้โพลีแซคคาไรด์ที่มีลักษณะเปราะ มีลักษณะเนื้อสัมผัสยืดหยุ่นดีขึ้น (Morris, 1986)

ชนิดที่ 2 ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถเกิดเจลได้ด้วยตัวเอง 2 ตัวผสมกัน เช่น การผสม high methoxy (HM) pectin และ low guluronic (LG) acid alginate และนอกจากนี้รายงานส่วนใหญ่จะให้ความสนใจกับการใช้แทนกันกับกลูโคแมนแนนที่จะทำให้เกิดการจับกันระหว่างโมเลกุล เกิดการ synergism แต่รูปการจับยังไม่เป็นที่แน่ชัด

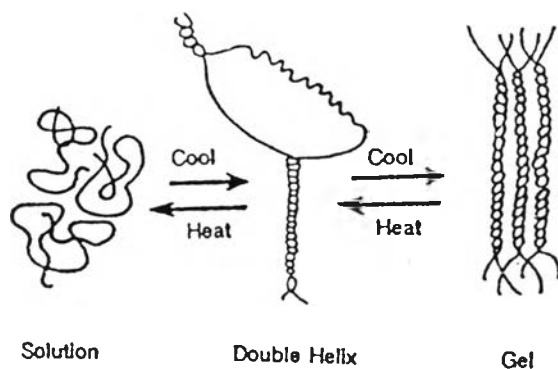
ไฮโดรคอลลอยด์

1) แคลปาคาร์ราจีแนน (Kappa-carrageenan)

เป็นโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตสกัดได้จากสาหร่ายสีแดง มีโครงสร้างเป็นกาแลกโทส-4-ซัลเฟต ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1,3 และต่อกับ 3,6-anhydro-D-galactose ด้วยพันธะ 1,4 ในโมเลกุลของ 3,6-anhydro-D-galactose คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟต ประมาณ 20 -30 % และบางส่วนของพันธะ 1,4 อาจเป็น กาแลกโทส-6-ซัลเฟต แทน 3,6-anhydro-D-galactose

แคลปาคาร์ราจีแนนมีความไวต่อโพแทสเซียมไอออนทำให้เกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น ถ้าเติมแคลเซียมไอออนจะเกิดเจลที่มีเนื้อแข็งเกิดรูปทรงได้ง่าย และมีความคงตัวได้ดีที่ pH สูงกว่า 7 และคุณสมบัติของคาร์ราจีแนนจะขึ้นอยู่กับประจุลบของหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโมเลกุล จากการศึกษาการเติมแคลเซียมไอออนในระดับ 0.0375, 0.075 และ 0.15 N พบว่าการเติมแคลเซียมไอออนที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลง เนื่องจากการแลกเปลี่ยนประจุกับคาร์ราจีแนน

คาร์ราจีแนนไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส การเกิดเจลจะเป็นแบบผันกลับได้เมื่อได้รับความร้อน กลไกการเกิดเป็นแบบ double helix carrageenan polymer ดังภาพที่ 2.8 คาร์ราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำจะมีโครงสร้างเป็นสายเมื่อทำให้เย็นจะเกิดเป็นตาข่ายโพลีเมอร์สามมิติ แต่ละสายของโพลีเมอร์จะเข้ามารวมตัวกัน ต้องการพื้นที่ของสายโซ่ที่มีความยาวน้อยที่สุดที่จะเข้ามารวมตัวกันเป็น junction zone เมื่อปล่อยให้เย็นลง junction zone จะรวมตัวกันมากขึ้นทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล

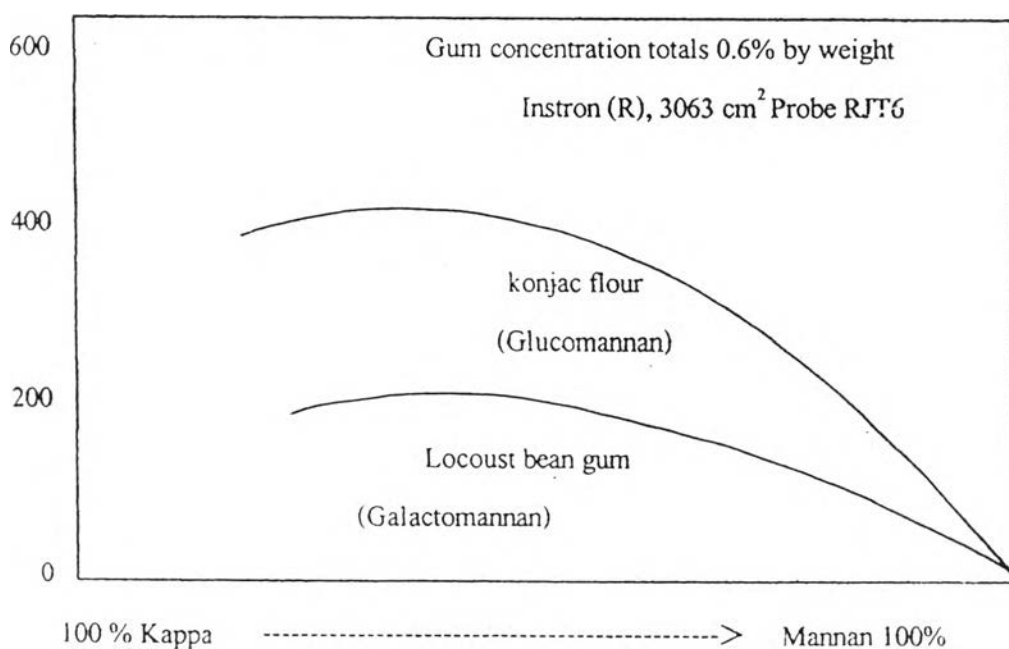


ภาพที่ 2.8 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน

ที่มา : นิธิยา รัตนापนนท์ (2539)

การใช้แป้งนุกร่วมกับแคปปาคาร์ราจีแนน

คาร์ราจีแนนจะทำให้สารละลายแป้งนุกเกิดเป็นเจลได้โดยเจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่นและผันกลับได้ด้วยความร้อน (thermoreversible gel) อัตราส่วนของปริมาณการใช้แป้งนุกร่วมกับแคปปาคาร์ราจีแนน มีผลทำให้ได้เจลที่มีความแข็งแรงแตกต่างกัน โดยอัตราส่วนระหว่างกลูโคแมนแนนที่ให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงอยู่ในช่วง 70:30 ถึง 50:50 ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 อัตราส่วนของกลูโคแมนแนนต่อแคปปาคาร์ราจีแนน เปรียบเทียบกับโลคัสบีนกันัม ต่อค่าความแข็งแรงของเจล

ที่มา: Tye (1991)

Toba และคณะ (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่า เจลของแป้งบุกเป็นเจลที่ไม่ทนต่อการแช่เยือกแข็ง เกิดการปล่อยน้ำออกมา (water release) ซึ่งเป็นปัญหาในผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง การใช้แคลปาคาร์ราจีแนน และ แลมบีดาคาร์ราจีแนนต่อแป้งบุกในอัตราส่วน 3:2 ช่วยปรับปรุงคุณภาพของเจลบุกและลดการสูญเสียน้ำ

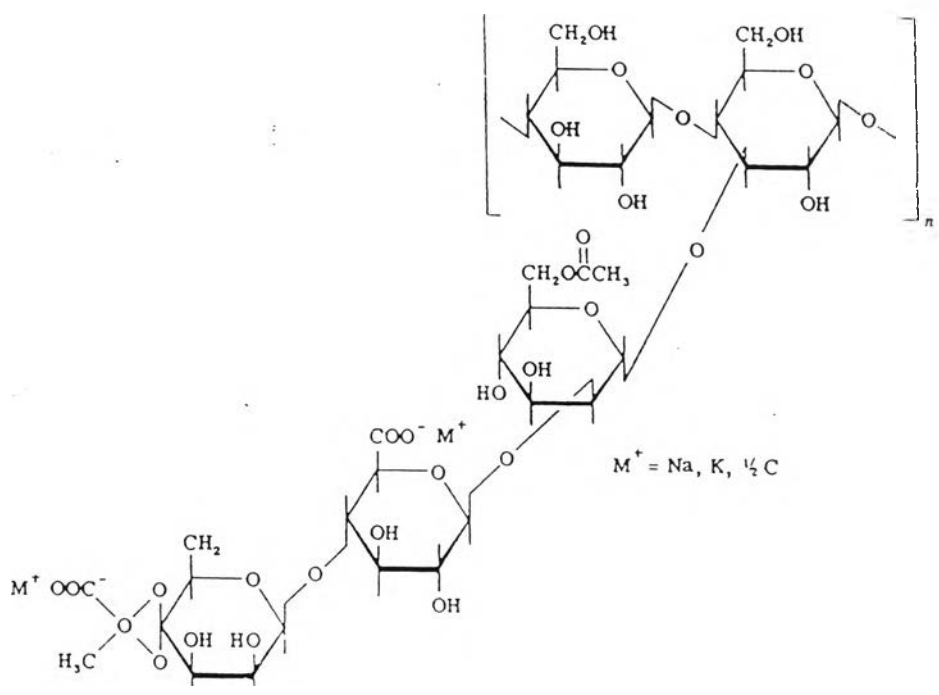
Annable และ William (1994) ทำการผสมแคลปาคาร์ราจีแนน และกลูโคแมนแนน ส่วนผสมรวม 6 % โดยใช้อิเล็กโตรไลต์ 3 ชนิด คือ โปแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ โปแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) พบว่า KCl เข้มข้น 0.05 mol/dm^3 ที่ pH 11.5 จะให้เจลที่แข็งแรงมากกว่า KOH และ K_2CO_3 ถึง 2 เท่า ซึ่งโปแทสเซียมไอออน (K^+) จะช่วยในการเกิดเจลของแคลปาคาร์ราจีแนน ส่วนไอออนของไฮดรอกไซด์ (OH^-) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) จะช่วยให้เกิดเจลของกลูโคแมนแนน อัตราส่วนของแคลปาคาร์ราจีแนนต่อกลูโคแมนแนน คือ 1:1 และการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะทำให้เจลของกลูโคแมนแนนเกิดการตกตะกอน

Williams และ Phillips (1995) ศึกษาการใช้กลูโคแมนแนนและโลคัสบีนัมกับกับแคลปาคาร์ราจีแนนร่วมกันโดยใช้ DSC และ ESR พบว่าโพลีเมอร์ทั้งสองมีการแทรกสอดกันโดยที่แคลปาคาร์ราจีแนนได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เป็นสายเป็นโครงสร้างที่เป็นเกลียวคู่โดยโปแทสเซียมไอออนจะทำให้สายเกลียวคู่เกิดการคงตัว และกลูโคแมนแนนจะเข้าไปครอบคลุมบริเวณผิวหน้าของแคลปาคาร์ราจีแนน จากการทดลองของ Tvaroska, Rochas และ Taravel (1986) พบว่าพันธะของเจลที่เข้าร่วมกันจะเป็นพันธะไฮโดรโดโพลหรือพันธะไอออนิก การฟอร์มตัวในช่วงนี้จะมีลักษณะไม่แข็งแรง

2) แขนแทนกัม (Xanthan gum)

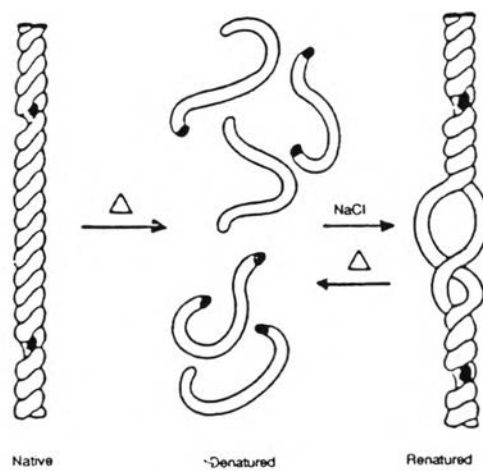
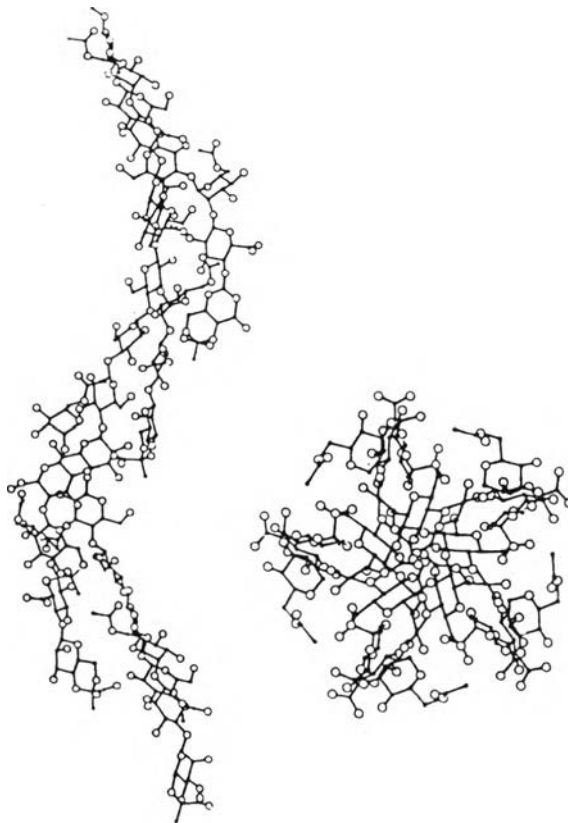
เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากแบคทีเรีย *Xanthomonas* ที่ใช้ในทางการค้าคือพันธุ์ *Xanthomonas campestris* แขนแทนกัมเป็น heteropolysaccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประมาณ 2,500,000 มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยสายหลักที่เป็น 1,4-linked- β -D-glucopyranosyl unit และมีสายโซ่แขนงประกอบด้วยแมนโนส 2 โมเลกุล และกรดกลูโคโรนิกอีก 1 โมเลกุล พบว่าแต่ละหน่วยที่ซ้ำกันของสายโพลีเมอร์ประกอบไปด้วยกลูโคส 2 หน่วย แมนโนส 2 หน่วย และกรดกลูโคโรนิกอีก 1 หน่วย ดังแสดงในภาพที่ 2.10

นอกจากนั้นยังพบว่าบริเวณส่วนปลายของโซ่แขนงที่เป็นแมนโนสประมาณ 50 % จะมีหมู่ของกรดไพรูวิกเชื่อมพันธะในลักษณะ 4,6-cyclic acetal ซึ่งสายโซ่แขนงเหล่านี้จัดเป็นส่วนที่ค่อนข้างมากในโมเลกุล ประมาณ 60 % และมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแซนแทนกัม และส่งผลให้แซนแทนกัมสามารถละลายได้ในน้ำเย็น



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของแซนแทนกัม
ที่มา : Williams และ Phillips (1995)

สำหรับโครงสร้างในระดับทุติยภูมิ และตติยภูมิ (secondary and tertiary structure) ของแซนแทนกัมยังมีการศึกษาและวิจัยไม่กระจ่างชัดเท่าโครงสร้างพื้นฐานจากการศึกษาโครงรูปโมเลกุล(molecular conformation) ของแซนแทนกัมโดยใช้ X-ray diffraction พบว่าโมเลกุลของแซนแทนกัมมีเสถียรภาพที่ดี เนื่องจากแต่ละสายของโมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนในลักษณะของ rigid helix (อดิศักดิ์ เอกโสภาวรรณ, 2540) ดังแสดงในภาพที่ 2.11



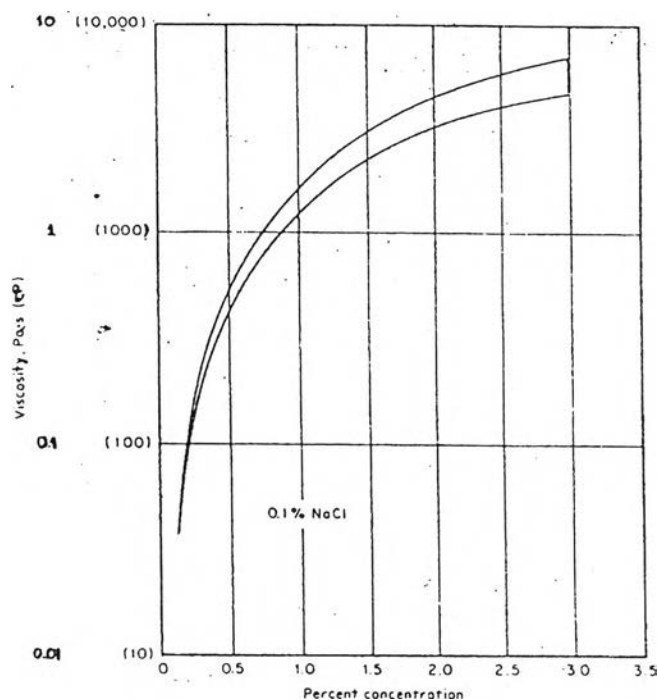
ภาพที่ 2.11 โครงรูปโมเลกุลของแซนแทนกัม
ที่มา: Urlacher และ Noble (1997)

คุณสมบัติของแซนแทนกัม

1. การละลายและความหนืด แซนแทนกัมละลายได้ในน้ำร้อนและน้ำเย็นได้อย่างดี สารละลายที่ได้มีลักษณะขุ่น และจะได้สารละลายที่มีความหนืดสูงแม้ว่าจะใช้ในปริมาณต่ำ การใช้กัมเพียงเล็กน้อยสามารถให้สารละลายที่มีความหนืดสูงได้ เช่น สารละลายกัม 1 % มีความหนืดประมาณ 800-1000 เซนติพอยส์ เมื่อวัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer model LVF ด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที

2. Pseudoplasticity แซนแทนกัมมีคุณสมบัติเป็น pseudoplasticity คือเมื่อเพิ่ม shear rate ความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็วแต่ถ้า shear rate ต่ำๆ สารละลายกัมจะมีแรงต้านทานสูง คุณสมบัติในการเป็น pseudoplasticity ของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นซึ่งคุณสมบัตินี้จะป้องกันการตกตะกอนของสารขนาดใหญ่ และป้องกันหยดน้ำมันไม่ให้ลอยข้างบน นอกจากนี้ยังช่วยให้การบีบ และการบรรจุให้สะดวกขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้นของแซนแทนกัม มีลักษณะเช่นเดียวกับ ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ เช่น โซเดียมอัลจิเนต กัวร์กัม คือ เมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นสารละลายจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้นของแซนแทนกัม (Brookfield viscometer model LVF ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราแรงเฉือน 60 รอบต่อนาที) ที่มา : อติศักดิ์ เอกโสวรรณ (2540)

และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติการเพิ่มความหนืดของแซนแทนกัม กับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ๆ พบว่า เมื่อใช้อัตราแรงเฉือนต่ำคงที่ สารละลายแซนแทนกัมจะมีความหนืดสูงมากกว่า สารละลายไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นเดียวกันได้แก่ กัวร์กัม ไฮดรอกซีเอธิลเซลลูโลส โลคัสปีนกัม โซเดียมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส และโซเดียมอัลจินेट สารละลายแซนแทนกัมแสดงลักษณะ shear-thinning characteristic เด่นกว่าสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากโครงสร้างดังกล่าวเมื่อได้รับแรงเฉือนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ที่มีโครงสร้างเป็นแบบ random-coil conformation

3. เสถียรภาพ

อาหารโดยทั่ว ๆ ไปมักมีเกลือเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในอาหารบางชนิดมีเกลือในปริมาณที่สูงมาก อาหารบางชนิดมีความเป็นกรดสูงส่วนใหญ่มักผ่านกระบวนการแปรรูปโดยความร้อน ดังนั้นสารที่ใช้เช่นสารให้ความคงตัว สารเพิ่มความหนืด และสารทำให้เกิดเจล ควรจะมีเสถียรภาพที่ดีต่อภาวะการแปรรูปต่างๆ แซนแทนกัมจัดเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติต่อการย่อยสลายด้วยกรดและด่าง การใช้ความร้อนสูง การแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง เอนไซม์ และการตีผสมเป็นระยะเวลานาน ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของแซนแทนกัม คือ

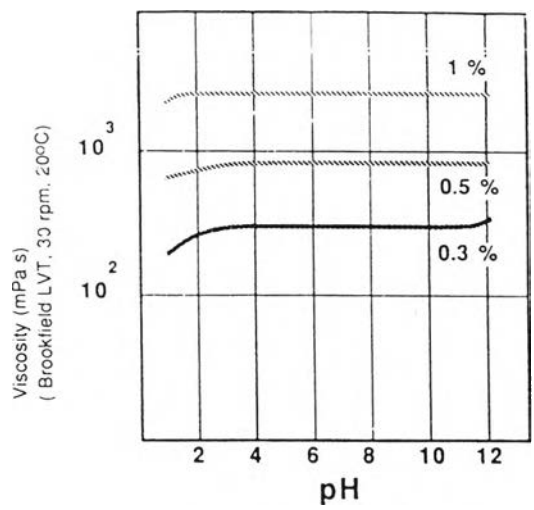
3.1 ผลของอุณหภูมิ

การเพิ่มอุณหภูมิมิมีผลต่อความหนืดของสารละลายกัมเพียงเล็กน้อย ส่วนสารละลายกัมที่เติมเกลือลงไปเล็กน้อย เช่น โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 % จะมีความหนืดคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายตั้งแต่ 10 - 90 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเกลือมีส่วนช่วยเพิ่มเสถียรภาพต่อความร้อนของสารละลายกัม

3.2 ผลของกรดและด่าง

สารละลายกัมมีเสถียรภาพที่ดีในช่วง pH ที่กว้างมากประมาณ 2.5 -11.0 ที่ระดับ pH ของสารละลายต่ำกว่า 2.5 หรือ สูงกว่า 11 มีผลทำให้สารละลายกัมมีสมบัติบางประการเปลี่ยนแปลงไป โดยสารละลายกัมที่ความเข้มข้นมากขึ้นจะมีเสถียรภาพต่อกรดและด่างเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.13

XANTHAN GUM



ภาพที่ 2.13 ผลของพีเอชที่มีต่อความหนืดของสารละลายแซนแทนกัมความเข้มข้นต่างๆ
ที่มา : Urlacher และ Noble (1997)

3.3 ผลของเกลือและน้ำตาล

เกลือมีผลต่อค่าความหนืดของสารละลายกัมขึ้นกับปริมาณของกัมในสารละลาย คือ ในสารละลายที่มีกัมน้อยกว่า 0.15 % เมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำให้ความหนืดลดลงเล็กน้อย แต่ถ้ามีกัมสูงขึ้นไปกว่าเกลือมีผลทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นโดยจะเพิ่มสูงสุดที่ความเข้มข้นเกลือ 0.02–0.07 % แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือมากกว่านี้เกลือจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายกัม นอกจากเกลือโซเดียมคลอไรด์แล้ว การใช้เกลือแมกนีเซียมและแคลเซียมก็ให้ผลในลักษณะเช่นเดียวกัน

ส่วนการใช้น้ำตาลพบว่าไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำของแซนแทนกัม แม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นสูงถึง 40-60 % แซนแทนกัมก็ยังคงมีอัตราการดูดซับน้ำและให้สารละลายที่มีความหนืดไม่ต่างไปจากสารละลายแซนแทนกัมในน้ำกลั่น

4. การละลายแซนแทนกัมร่วมกับสารอื่น

4.1 กรด แซนแทนกัมละลายได้โดยตรงในสารละลายกรดหลายชนิด และคงตัวได้ดีเมื่อมีกรดอินทรีย์อยู่ แซนแทนกัมละลายได้ดีในกรดอะซิติก 5 % กรดไฮโดรคลอริก 10 % และกรดฟอสฟอริก 25 % โดยที่ความหนืดของสารละลายจะคงที่เป็นเวลาหลายเดือนถ้าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

4.2 ต่าง แชนแทนกัมสามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 %

4.3 เกลือ สารละลายกัมละลายเข้ากันได้ดีกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ แคลเซียม-คลอไรด์ ซึ่งมีความเข้มข้นสูงจนถึง 25 % แต่มีสารบางอย่างซึ่งแชนแทนกัมละลายได้ไม่ดี ได้แก่ polyvalent metal ion บางชนิด เช่น แคลเซียมที่ pH สูงๆ จะทำให้แชนแทนกัมตกตะกอนลงมา หรือเกิดลักษณะเจลขึ้น

4.4 ตัวทำละลาย แชนแทนกัมสามารถละลายในสารละลายที่มี organic solvent ที่ละลายน้ำได้เช่น เมทานอล เอทิลแอลกอฮอล์ และ อะซิโตนที่มีปริมาณสูงถึง 50 %

4.5 สารเพิ่มความข้น แชนแทนกัมละลายเข้ากันได้ดีกับสารเพิ่มความข้นส่วนมาก เช่น คาร์ราจีแนน โซเดียมอัลจินเต แป้งมันสำปะหลัง และไลคัลซินกัม เป็นต้น โดยเฉพาะเมื่อนำแชนแทนกัมละลายกับไลคัลซินกัมปริมาณต่างๆ หรือกัวร์กัม พบว่าจะช่วยทำให้ความหนืดสูงขึ้นซึ่งมีอัตราส่วนของแชนแทนกัมต่อไลคัลซินกัม เท่ากับ 95:5 ถึง 5:95 พบว่าทำให้ลักษณะเจลดีขึ้นแต่อัตราส่วนที่ช่วยให้เจลมีความคงตัวสูงที่สุดคือ 75:25 ถึง 40:60

การใช้แบ่งบรุ่มกับแชนแทนกัม

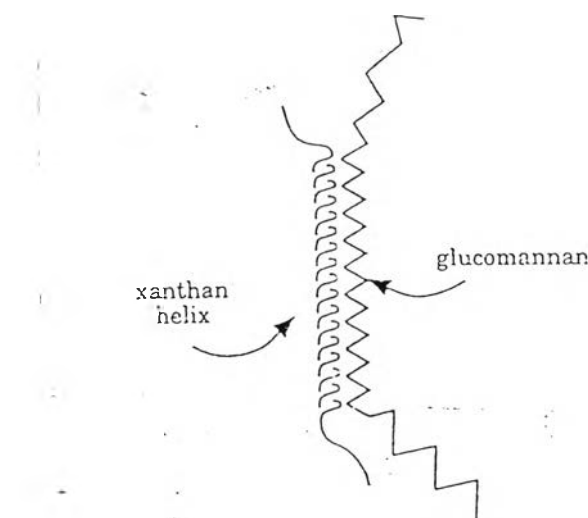
แชนแทนกัมไม่มีคุณสมบัติเป็นสารช่วยให้เกิดเจล แต่สามารถเกิดเป็นเจลที่ผันกลับไม่ได้เมื่อให้ความร้อน (thermoirreversible gel) เมื่อใช้ร่วมกับกลูโคแมนแนน เจลมีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงแตกต่างกันไปขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างกลูโคแมนแนนและแชนแทนกัม โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็น 60:40 ถึง 50:50 (Tye, 1991)

Toba และคณะ (1987) ศึกษาพบว่าเจลของกลูโคแมนแนนมีปัญหาเรื่องกลิ่นตกค้างเนื่องจากกลูโคแมนแนนจะเกิดเป็นเจลที่ pH ไม่น้อยกว่า 11 และเจลจะกักเก็บน้ำไม่ดี ดังนั้นจึงศึกษาการใช้กลูโคแมนแนนร่วมกับแชนแทนกัม และวัดค่าการสูญเสียน้ำของเจลโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับที่ -25 องศาเซลเซียส อัตราการสูญเสียน้ำหาได้จากน้ำหนักที่สูญเสียไปหารด้วยน้ำหนักของตัวอย่างรวมคูณด้วย 100 พบว่าการเติมแชนแทนกัมที่อัตราส่วนกลูโคแมนแนนต่อแชนแทนกัมเท่ากับ 95 : 5 ถึง 65 : 35 ให้เจลที่มีความคงตัวที่ pH เป็นกลาง ช่วยลดกลิ่นตกค้าง และมีค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บน้อยกว่าเจลบุกที่ไม่เติมกัม

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของกลูโคแมนแนนและแซนแทนกัม

1. ผลของอุณหภูมิ

Dalbe (1986) ทดลองผสมแซนแทนกัมกับ กลูโคแมนแนนพบว่า จะเห็นเจลที่มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุดเมื่อผสมในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 เมื่อมีอิเล็กโตรไลต์ และพบว่า เจลจากของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 60-63 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการหลอมเหลวขึ้นกับอัตราส่วนของกัม และความเข้มข้นของสารละลายรวม ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกัม การจับกันระหว่างแซนแทนกัมและกลูโคแมนแนนทำให้เกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นสูง โดยการเกิดเจลจะเกิดที่สายกิ่ง (side chain) ของแซนแทนกัมโดยเปลี่ยนโครงสร้างแบบเกลียวให้มีลักษณะคล้ายลูกกุญแจและแม่กุญแจ (lock and key effect) จับกับสายของกลูโคแมนแนน (Williams and Phillips, 1995) ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างการจับกันของแซนแทนกัมกับกลูโคแมนแนน

ที่มา : William และ Phillips (1995)

Williams และ Phillips (1995) พบว่าการผสมกันของแซนแทนกัมกับกลูโคแมนแนนในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.04 mol/dm^3 ที่ 25 องศาเซลเซียส จะเกิดเจลที่ไม่แข็งแรง อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ที่ 82.5 องศาเซลเซียส และเมื่อให้ความเย็นจะทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส โดยความร้อนจะไปรบกวนการเกาะกลุ่มกันของแซนแทนกัม ทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับกลูโคแมนแนน เกิดเป็นเจลได้ และพบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะยังเกิดเจลที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส

2. ผลของวิธีการเตรียมเจล

Dalbe (1986) ได้ศึกษาวิธีการเตรียม เจลกลูโคแมนแนนผสมผสมแซนแทนกัน 4 วิธีคือ

2.1 ผสมส่วนผสมที่เป็นผงให้ความร้อน 22 องศาเซลเซียส

2.2 ผสมส่วนผสมที่เป็นสารละลายโดยที่สารละลายแซนแทนกันผสมเป็นเวลา 5 นาที สารละลายกลูโคแมนแนนผสมเป็นเวลา 15 นาที และส่วนผสมรวมผสมเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส

2.3 ผสมส่วนผสมที่เป็นผงให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส 30 นาที

2.4 ผสมส่วนผสมที่เป็นผงให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

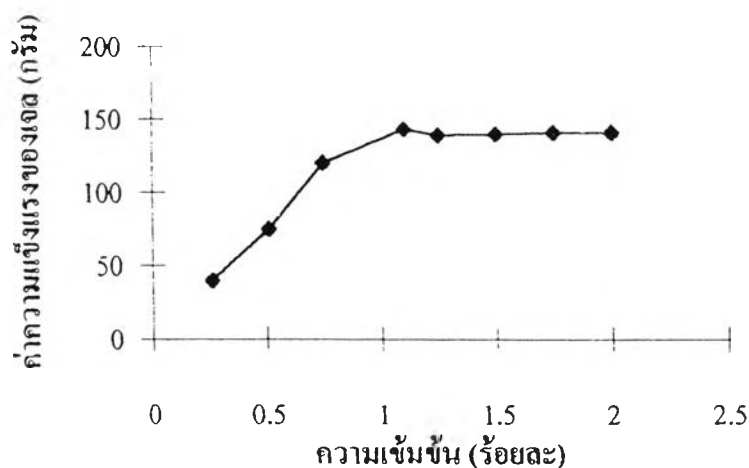
พบว่าที่อุณหภูมิที่ใช้ละลายสูงขึ้นค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่า 85 องศาเซลเซียส จะทำให้สายหลักของกลูโคแมนแนนละลายทำให้เกิดการเข้าร่วมกับแซนแทนกันทำให้เกิดเจลที่มีความแข็งแรงสูงได้ แต่ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส การละลายจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์

3. ผลของอัตราการให้ความเย็น

จากการเปรียบเทียบการให้ความเย็นแบบช้า (1 องศาเซลเซียส / นาที) และ ให้ความเย็นแบบเร็ว (30 องศาเซลเซียส/นาที) พบว่าการให้ความเย็นแบบเร็วจะทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล และค่า elastic modulus ที่สูงกว่าการให้ความเร็วแบบช้า

4. ผลของความเข้มข้นรวม

ค่าความแข็งแรงของเจลวัดโดยใช้เครื่อง Stevens ในน้ำกลั่น พบว่าจะมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุดที่ความเข้มข้นรวม 1 % และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกันวมต่อไปจะไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น เนื่องจากถึงจุดอิ่มตัวของการผสมของแซนแทนกันกับกลูโคแมนแนน ซึ่งผลแสดงได้ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นรวมกับค่าความแข็งแรงของเจล ที่อัตราส่วนกลูโคแมนแนนต่อแซนแทนกัม เป็น 70:30 ที่ 22 องศาเซลเซียส

ที่มา: Williams และ Phillips (1995)

การใช้ประโยชน์ในอาหาร

การใช้แซนแทนกัมผสมกลูโคแมนแนนทำให้เกิดเจลในอาหารให้มีลักษณะข้นหนืดเพิ่มขึ้น ควบคุมการตกตะกอนของอนุภาคในน้ำผลไม้และเครื่องดื่ม และเริ่มนำมาใช้ให้ความคงทนต่อการ freeze thaw ในผลิตภัณฑ์อาหารเช่น ไอศกรีม (Williams and Phillips, 1995)

การนำแป้งบุกไปใช้

บุกจัดเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง ส่วนหัว ก้านและใบของบุกสามารถนำมาใช้ประกอบอาหารได้ นอกจากนี้ส่วนต่างๆของต้นบุกยังมีสรรพคุณในการรักษาโรคต่างๆ เช่น ส่วนหัวมีสรรพคุณเป็นยาแก้โรคบิด แก้โรคไขข้ออักเสบ ส่วนรากมีสรรพคุณใช้แก้โรคริดสีดวงทวาร เป็นต้น (हररषा जकरतनरुं ठु अरुठरुषा, 2527)

วุ้น หรือเจลที่ได้จากบุกมีสมบัติต่างจากวุ้นที่ได้จากพืชชนิดอื่น เช่น วุ้นที่ได้จากเมล็ดธัญพืช หรือวุ้นกาคแลคโตแมนแนนที่ได้จากสาหร่ายทะเล คือมีความสามารถด้านการพองตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้องแต่คงตัวได้ไม่นาน สามารถดูดน้ำได้มากไม่ถูกย่อยในร่างกายนุขยจึงไม่ให้พลังงานแก่ผู้บริโภค ผลงานวิจัยของจีนพบว่า โดยทั่วไปใยอาหารจากบุกไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่จะเข้าไปช่วยปรับสภาวะโภชนาการของร่างกายที่ไม่สมดุลอันเนื่องจากร่างกายได้รับคาร์โบไฮเดรต

โปรตีน และไขมันมากเกินไปเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดความสมดุล ไขมันสามารถถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน และกรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดสั้น (สุวศรี เตชะภาส, 2542) ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการผลิตแป้งบุกเพื่อใช้ในการทำอาหารมานานแล้ว ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการนำแป้งบุกมาใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหาร (food ingredient) ในสูตรอาหารหลายชนิด ในปี ค.ศ. 1990 FDA ได้มีการตรวจสอบแล้วว่ามีความปลอดภัย สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ นอกจากนี้แป้งบุกยังถูกใช้เพื่อเป็นสารปรุงแต่งอาหารในประเทศอื่นๆ โดยมีข้อกำหนดดังตาราง 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดของแป้งบุก (konjac flour/konjac gum)

| Regulatory Agency | Classification |
|---|--|
| USA | |
| Food & Drug Administration | GRAS |
| US Dept of Agriculture | Label approval under consideration |
| | Allowed in meat products- label approval required |
| Food Chemicals Codex | Specifications listed in FCC Third Supplement |
| Italy | Food, food ingredient (dietary fibre use) |
| Belgium | Dietetic foods (health/dietetic foods) |
| Canada | Food ingredient (3% maximum use level in unstandardized and approved standardized foods) |
| Uruguay, Paraguay, Argentina, Brazil (MERCOSUR) | Food additive (thickener, stabilizer, emulsifier or gelling agent at GMP) |
| Australia | Non-standardized foods |
| European Community (EC) | |
| Scientific Committee for Food (SCF) | Dossier for konjac gum submitted in 1995 for review as a general food additive |
| FAO/WHO | Temporary 'ADI not specified' submitted for review by 1996 |

ที่มา : Thomas (1997b)

ปัจจุบันแป้งบุกได้รับความสนใจในแง่เป็นอาหารเสริมสุขภาพ โดยมีรายงานว่า มีเส้นใยสูง (high fiber) ช่วยลดความอ้วน ให้พลังงานต่ำเนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถย่อยได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacing) และ สารให้ความคงตัว (Singhavanich and Patanawong, 1992)

ปัจจุบันได้มีการนำแป้งบุกไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ดังนี้

1. ใช้เป็นอาหารโดยตรง

1.1 ใช้เป็นอาหาร บุกจัดเป็นพืชพวกอาหารและสมุนไพร มีการนำก้อนอ่อน และ หัวมาปรุงเป็นอาหาร โดยนำมาต้มหรือผัด (หรรษา จักรพันธ์ ณ อยุธยา, 2527)

1.2 คอนนิยากุ (Konnyaku) ชาวญี่ปุ่นเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่รู้จักการบริโภคแป้งบุกมานานแล้ว โดยนิยมนำแป้งบุกมาผลิตเป็นเส้น หรือเป็นก้อนที่เรียกกันว่า konnyaku ซึ่งมีหลายชนิดคือ (นิพนธ์ รัฐศาสตร์, 2539)

- บุกเส้นขาว (Shirataki)
- บุกเส้นผสมสาหร่าย (Ito-konnyaku)
- บุกก้อนขาว (Shiro Ita-konnyaku)
- บุกก้อนผสมสาหร่าย (Kuro Ita-konnyaku)

1.3 อาหารเจ (Vegetarian food) แป้งบุกสามารถนำมาผลิตเป็นอาหารเจ โดยนิยมนำแป้งบุกมาขึ้นรูปโดยการปั้นเป็นรูปสัตว์ต่างๆ เช่น ปลาหมึก กุ้ง จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ มีการปรุงแต่งกลิ่นรสเลียนแบบธรรมชาติ

2. การนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

2.1 ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ (Processed meat products) ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมทั่วไป แต่ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะให้พลังงานสูง มีปริมาณไขมันมากแต่มีเส้นใยอยู่น้อยมาก การรับประทานในปริมาณมากและเป็นประจำอาจก่อให้เกิดภาวะที่ร่างกายได้รับพลังงานมากเกินไป และเกิดการขาดเส้นใยอาหารอันเป็นสาเหตุของการเกิด

โรคบางอย่างได้ แป้งบุกจึงถูกนำมาใช้เพื่อลดปริมาณไขมัน และเป็นตัวช่วยเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการใช้แป้งบุกในการทดแทนไขมัน เช่น ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก แฮม ลูกชิ้น และ มีทโลฟ เป็นต้น

2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery products) มีการนำแป้งบุกมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยนำมาใช้ทดแทนไขมันในส่วนของเนย (butter) ซึ่งให้พลังงานสูง ผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนได้แก่ เค้ก คุกกี้ และขนมปัง (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ และคณะ, 2541)

2.3 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชนิดเส้นใย (Fiber drinks) แป้งบุกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยนำมาเติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหาร ทำให้ได้เครื่องดื่มใยอาหารเพื่อสุขภาพ

3. ผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ไม่เกิดเจล (Ungelled processed food product)

แป้งบุกสามารถนำมาใช้เป็นสารให้ความหนืด และสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ไม่เกิดเจลได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน เช่น ไอศกรีม วิปปิ้งครีม และ milk drink เป็นต้น (Ford and Cheney, 1983) การใช้แป้งบุกแทนคารอบกัม (carob gum) ในการผลิตไอศกรีมจะช่วยลดต้นทุนได้เป็นอย่างมาก และสามารถใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าอีกด้วย และผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็มีการยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้

ผลต่อสุขภาพและความปลอดภัย

กลูโคแมนแนน เป็นสารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพในรูปของใยอาหาร (dietary fiber) (วันชัย จุลสุนทร, 2537) ซึ่งให้ประโยชน์ทางการแพทย์หลายประการ ที่สำคัญคือ

1) ผลต่อการลดระดับไขมันในเลือด

จากการศึกษาของ Sugiyama และ Shimahara (1974) พบว่าแป้งบุกบริสุทธิ์มีประโยชน์ทางการแพทย์ โดยรับประทานแป้งบุกเป็นประจำในปริมาณ 0.1 - 1.0 กรัมต่อน้ำหนักตัวของผู้บริโภค 1 กิโลกรัม จะมีผลช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ระดับไขมันในเส้นเลือด (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, 2538ก) โดยไม่พบผลข้างเคียงต่ออวัยวะอื่น เช่น กระเพาะอาหาร ตับหรือไต กลไกที่เส้นใยสามารถลดระดับไขมันในเส้นเลือดได้ ก็โดยการดูดซึมเอาน้ำดีออกจากระบบทางเดินอาหาร ทำให้มีการเร่งสร้างน้ำดีขึ้นทดแทนในตับจากไขมันคอเลสเตอรอล น้ำดีที่ออกมาทาง

ลำไส้จะถูกจุลินทรีย์ทำลายให้สารพวก short-chain fatty acid ลดปริมาณคอเลสเตอรอล โดยร่างกายต้องเร่งการสลายคอเลสเตอรอลให้เป็นน้ำดีทดแทนส่วนที่ถูกดูดซับ

การทดลองให้อาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูงแก่หนูทดลอง 3 กลุ่ม โดยหนูทดลองกลุ่มที่ 1 ให้อาหารคอเลสเตอรอลสูง ในหนูทดลองกลุ่มที่ 2 ให้อาหารคอเลสเตอรอลสูงพร้อมกับผงบุก (konjac flour) 5 % และหนูกลุ่มที่ 3 ให้อาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูง พร้อมผงบุกที่บริสุทธิ์ (glucomannan) 5 % เป็นเวลา 3-4 เดือน จากนั้นตรวจปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดของหนูทดลองเหล่านี้ พบว่า ผงบุกสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้ และผงบุกที่บริสุทธิ์มีประสิทธิภาพในการลดคอเลสเตอรอลได้ดีกว่าผงบุกธรรมดา

2) การใช้เส้นใยอาหารในการลดน้ำหนัก

พบว่าแป้งบุกมีส่วนอย่างมากในการลดน้ำหนักสำหรับผู้ที่เป็นโรคอ้วนเพราะสารกลูโคแมนแนนจะเซ็ทเจลที่สามารถเพิ่มปริมาตรได้ถึง 30-50 เท่าจึงให้ความรู้สึกอิ่ม ในญี่ปุ่นมีการผลิตแป้งบุกบริสุทธิ์บรรจุซอง (ซองละ 1.5 กรัม) ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า Hi-Mannan® สำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักโดยรับประทานวันละ 1-3 ซอง ก่อนอาหารมื้อนั้นๆ เมื่อรับประทานแป้งบุกจะดูดซึมน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและเกิดการพองตัว ลดความอยากอาหารและทำให้เกิดความรู้สึกอิ่ม โดยให้พลังงานต่ำเพียง 5 Kcal ต่อกรัม (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ , 2538ก)

3) ผลต่อการลดระดับน้ำตาลในเส้นเลือด

ระดับของน้ำตาลในเส้นเลือดมีผลกระทบต่อความเป็นโรคเบาหวาน อาหารสำหรับผู้ป่วยนั้นควรมีเส้นใยเพิ่มขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ ช่วยควบคุมน้ำตาลเพื่อลดภาวะแทรกซ้อนโดยลดระดับไขมันในเลือด กลไกการลดระดับน้ำตาลในเลือดของเส้นใย สันนิษฐานว่าเนื่องจากความหนืดของเส้นใยจะช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล เนื่องจากความสามารถในการเกิดเจล ซึ่งจะไปเคลือบชั้นผิวของลำไส้ เพิ่มความหนาของชั้นเมือกที่เคลือบผิวลำไส้ที่มีอยู่เดิม การเกิดเจลจึงเพิ่มความหนืดของอาหารทำให้อาหารเคลื่อนที่ได้ช้า ให้ความล่าช้าในการดูดซึมอาหารทั่วไป แต่เนื่องจากการเคลือบลำไส้ที่หนาขึ้นทำให้การดูดซึมอาหาร เช่น น้ำตาลและแป้งที่ย่อยแล้วช้าลงด้วย ระดับของน้ำตาลในเลือดจึงไม่สูงขึ้นอย่างฉับพลัน