บทที่ 2
วารสารปริทรรศน์

บะหมี่ที่นิยมบริโภคกันทั่วไปในประเทศแถบเอเชีย ทำจากแป้งสาลี (*Triticum aestivum*) น้ำ เกลือ และ/หรือด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต นำมารีดให้เป็นแผ่นก่อนจะตัดให้เป็นเส้น ซึ่งจะต่างจากพาสต้าของประเทศแถบยุโรป ซึ่งทำจากแป้งสาลีดูรัม (*Triticum durum*) เซโมลินา และน้ำ บะหมี่สูตรทางแถบเอเชียแบ่งตามสีได้ 2 ชนิด คือ บะหมี่สีขาวหรือสูตรญี่ปุ่น (White salted noodles) และบะหมี่สีเหลืองหรือสูตรจีน (Yellow alkaline noodles) บะหมี่ทั้งสองชนิดจะมีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกัน เพียงแต่บะหมี่สูตรจีนจะมีการเติมด่างเข้าไปด้วย จึงทำให้มีสีเหลือง

ตารางที่ 2.1 ชนิดของบะหมี่ของประเทศแถบเอเชีย

	ชนิด	
	เกลือ	ด่าง
สี	ขาวหรือขาวครีม	เหลือง
วัตถุดิบหลัก	แป้ง,น้ำ,เกลือ	แป้ง , น้ำ , เกลือ,ด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต
ประเทศที่บริโภค	ญี่ปุ่น , เกาหลี ,จีนตอนเหนือ	มาเลเซีย,สิงค์โปร์,อินโดนีเซีย,ไทย ไต้หวัน,ฮ่องกง,จีนตอนใต้,ญี่ปุ่น
pH ของบะหมี่	6.5 - 7.0	9.0 - 11.0
คุณสมบัติทาง ประสาทสัมผัส	นุ่ม , ไม่เหนียว	เหนียว,ยืดหยุ่นดี

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล , 2540

สำหรับบะหมี่สีขาวหรือสูตรญี่ปุ่นจะใช้แป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำมีโปรตีน 9-10 % ผสมน้ำ 28-33 % และเกลือ 2 % โดยไม่เติมด่าง บะหมี่จะมีสีขาว ส่วนบะหมี่สีเหลืองหรือสูตรจีนใช้แป้งสาลีชนิดอเนกประสงค์มีโปรตีน 10-12 % ผสมกับด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต 0.5 – 2.0 % และเกลือ 1.50 % น้ำ 30-35 % อาจมีการเติมหรือไม่เติมไข่ก็ได้ บะหมี่จะมีสีเหลือง Shelke , Dick , Holm และ Loo (1990) รายงานว่าบะหมี่สูตรจีนที่นิยมบริโภคในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะใช้แป้งสาลีซึ่งมีปริมาณโปรตีน 10-11.5 % เกลือ 1.4–1.7 % และโซเดียมคาร์บอเนต 0.7 – 1.2 % จะทำให้เส้นบะหมี่ที่ได้มีลักษณะที่ดี

ตารางที่ 2.2 ข้อแตกต่างระหว่างบะหมี่กับพาสต้า

	บะหมี่		พาสต้า
	แบบจีน	แบบญี่ปุ่น	แบบอิตาลี
ชนิดของข้าวสาลี (*Triticum* sp.)	T. *vulgare*	T.*vulgare*	T. *durum* T. *vulgare*
ลักษณะวัตถุดิบ	แป้ง	แป้ง	เซโมลินา
ส่วนผสมของเหลว	น้ำเบส	น้ำเกลือ	น้ำธรรมดา
กรรมวิธีการผลิต	รีดแล้วตัดเป็นเส้นแบนยาว	รีดแล้วตัดเป็นเส้นแบนยาว	อัดเป็นเส้นหลายแบบ กลม ยาว สั้น มีรู เป็นแผ่น
สีของผลิตภัณฑ์	เหลือง	ขาว	เหลือง

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล , 2540

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตบะหมี่ คือ แป้งสาลี และน้ำ นอกจากนั้นอาจมีการเติมเกลือด่าง ไข่หรือสารอื่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่ ซึ่งคุณสมบัติของส่วนผสมที่สำคัญคือ

<u>แป้งสาลี</u>

แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก มีประมาณ 90-95 % ในสูตร ลักษณะทางกายภาพและเคมีของบะหมี่จึงเป็นผลมาจากแป้งสาลีเป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบในแป้งสาลีซึ่งมีผลต่อลักษณะของเส้นบะหมี่ได้แก่

สตาร์ช เป็นองค์ประกอบที่มีในแป้งมากที่สุด (ประมาณ 67%) จึงเป็นโครงร่างของเส้นบะหมี่ มีความสัมพันธ์กับโปรตีนในรูปกลูเตนให้ความยืดหยุ่น และสตาร์ชจะมีผลต่อเส้นบะหมี่เมื่อสุก ซึ่งสตาร์ชที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้เส้นบะหมี่ยืดตัวดีและมีลักษณะเส้นที่เหนียว

โปรตีน ปริมาณโปรตีนและคุณภาพของกลูเตนจะมีผลต่อความยืดหยุ่นและความคงตัวของบะหมี่ แป้งสาลีประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ซึ่งโปรตีนที่ละลายน้ำได้มีประมาณ 20 % ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดส่วนใหญ่จะเป็น albumin globulin enzyme และ glycoprotein โดยโปรตีนชนิดนี้ไม่มีส่วนในการเกิดเป็นโดของแป้งสาลี การเกิดโดเป็นผลจากกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำของแป้งสาลีและมีปริมาณมากประกอบด้วยไกลอะดิน

(gliadin) และกลูเตนิน (glutenin) กลูเตนจะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ คือ glutamine , asparagine และ proline (Campbell ,1972) จัดเรียงกันมากกว่า 50 % การละลายน้ำของกลูเตนมีน้อยเนื่องจากมีกรดอะมิโน lysine , arginine , aspartic acid อยู่น้อย (ต่ำกว่า 10 %) ใน 30 % ของกรดอะมิโนในกลูเตนจะเป็นพวกไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งจะจับตัวเป็นกลุ่มก้อนได้โดยการเกิด interaction ของพวกไม่ชอบน้ำด้วยกันเองและสามารถ

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในข้าวสาลี แป้ง และโปรตีนในแป้งสาลี (กรัมต่อ 16 กรัมไนโตรเจน)

กรดอะมิโน	ข้าวสาลี	แป้งสาลี	อัลบูมิน	โกลบูลิน	ไกลอะดิน	กลูเตนิน	โปรตีนส่วนที่เหลือ
ทริพโทเฟน	1.5	1.5	1.1	1.1	0.8	2.2	2.3
ไลซีน	2.3	1.9	3.2	5.9	0.5	1.5	2.4
ฮีสทิดีน	2.0	1.9	2.0	2.6	1.6	1.7	1.8
แอมโมเนีย	3.5	3.9	2.5	1.9	4.7	3.8	3.5
อาร์จีนีน	4.0	3.1	5.1	8.3	1.9	3.0	3.2
กรดแอสพาร์ติก	4.7	3.7	5.8	7.0	1.9	2.7	4.2
ทรีโอนีน	2.4	2.4	3.1	3.3	1.5	2.4	2.7
เซรีน	4.2	4.4	4.5	4.8	3.8	4.7	4.8
กรดกลูตามิก	30.3	34.7	22.6	15.5	41.1	34.2	31.4
โปรลีน	10.1	11.8	8.9	5.0	14.3	10.7	9.3
ไกลซีน	3.8	3.4	3.6	4.9	1.5	4.2	5.0
อะลานีน	3.1	2.6	4.3	4.9	1.5	2.3	3.0
ซีสทีน	2.8	2.8	6.2	5.4	2.7	2.2	2.1
วาลีน	3.6	3.4	4.7	4.6	2.7	3.2	3.6
เมธไทโอนีน	1.2	1.3	1.8	1.7	1.0	1.3	1.3
ไอโซลิวซีน	3.0	3.1	3.0	3.2	3.2	2.7	2.8
ลิวซีน	6.3	6.6	6.8	6.8	6.1	6.2	6.8
ไทโรซีน	2.7	2.8	3.4	2.9	2.2	3.4	2.8
ฟีนิลอะลานีน	4.6	4.8	4.0	3.5	6.0	4.1	3.8

ที่มา : George , 1974

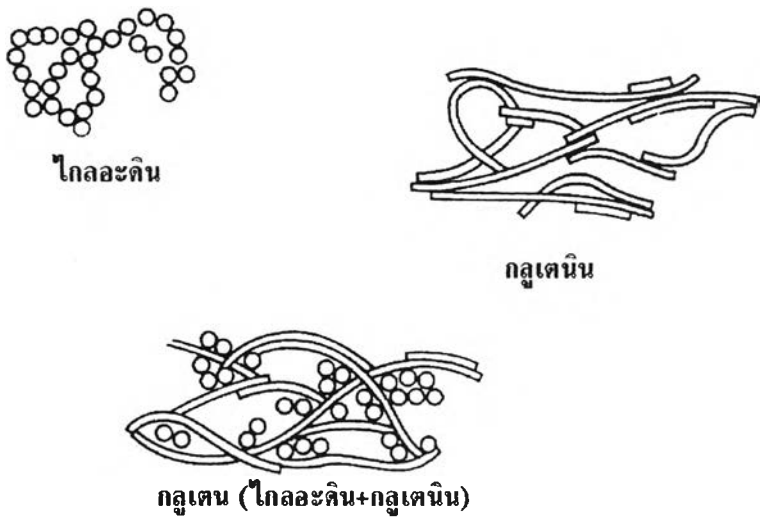
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีที่ใช้ในบะหมี่สูตรจีน

ชนิดบะหมี่	ปริมาณโปรตีน (N x 5.7) %
เกี๊ยว (ไข่)	>13
บะหมี่คันโตสดเกรดดี	12-13
บะหมี่คันโตสด	10-12
บะหมี่อบแห้ง	10-11.5
บะหมี่ฮกเกี้ยนสด	10-11
บะหมี่ผ่านไอน้ำแล้วทำแห้งด้วยการอบแห้ง	9-11.5
บะหมี่ผ่านไอน้ำแล้วทำแห้งด้วยการทอด	10-12.5

ที่มา : Kruger และคณะ , 1996

เกิดพันธะกับไขมันหรือพวกไม่มีขั้วอื่น ๆ ได้ด้วย ปริมาณของกรดอะมิโน glutamine และกรดอะมิโนที่มี hydroxyl (~10%) ที่สูงในกลูเตนมีผลต่อคุณสมบัติของการเกิดพันธะกับน้ำและพันธะไฮโดรเจนระหว่าง glutamine และ hydroxyl จะแสดงสมบัติด้าน cohesion และ adhesion

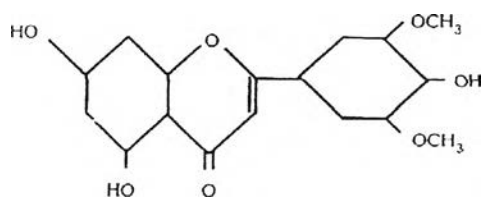


ภาพที่ 2.1 แบบจำลองของไกลอะดิน กลูเตนินและการเกิดกลูเตน

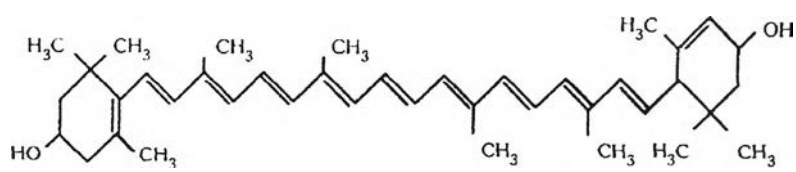
ที่มา : Wall และ Beckwith ,1969

เอนไซม์ ถ้าแป้งสาลีมีเอนไซม์ α-amylase มากจะเกิดการย่อยสลายสตาร์ชทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเสียไป ความหนืดน้อยลง มีโครงร่างและความยืดหยุ่นน้อย เส้นที่ได้จะไม่เหนียว เปื่อยง่ายและเส้นแฉะ ส่วนเอนไซม์ protease ซึ่งย่อยโปรตีนจะทำให้คุณสมบัติของกลูเตนเสีย นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีผลต่อสีของบะหมี่ โดยเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่มีในแป้งจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ tyrosine หรือสารฟีนอลอื่นในแป้งเกิดสารสีน้ำตาลทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

สารให้สี สีเหลืองที่พบในแป้งสาลีเกิดจากสารแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งได้แก่ แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) แซนโทฟิลล์ เอสเทอร์ (xanthophyll ester) แคโรทีน (carotene) และสารฟลาโวน (flavones)



สารฟลาโวน



แซนโทฟิลล์

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของสารให้สีในแป้งสาลี
ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540

ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ ที่มีในเมล็ดและส่วนต่าง ๆ ของข้าวสาลีนั้น จะมีแซนโทฟิลล์มากที่สุด รองลงมาคือ แซนโทฟิลล์ เอสเทอร์ และมีแคโรทีนน้อยที่สุด

น้ำ

เป็นตัวทำละลายและทำให้ส่วนผสมต่าง ๆ กระจายตัว ทำให้แป้งจับตัวเป็นก้อนโด ทำให้รีดเป็นแผ่นบางและตัดเป็นเส้นได้ น้ำจะมีผลต่อลักษณะของเส้นบะหมี่โดยตรง ถ้าใส่น้ำใน

ส่วนผสมน้อยเกินไป โครงร่างของเส้นบะหมี่จะไม่แข็งแรง ร่วน ทำให้เส้นบะหมี่แข็งและขาดง่าย ถ้าใส่น้ำมากเกินไปโดจะแฉะเหนียวติดมือ เมื่อตัดเป็นเส้นแล้วเส้นจะติดกันง่าย

<u>เกลือ</u>

เพื่อปรับสภาพน้ำให้เหมาะสมกับชนิดของบะหมี่ เกลือมีคุณสมบัติต่อกลูเตนของโด โดยจะเพิ่มความแข็งแรงและแรงต้านทานการยืดตัวของโด ช่วยให้โดไม่แฉะ ตัดเป็นเส้นแล้วไม่ติดกันและยังช่วยควบคุมการทำงานของ protease ทำให้กลูเตนไม่ถูกทำลาย ช่วยให้โดคงความเหนียวและยืดหยุ่นได้นาน ทำให้เก็บรักษาเส้นบะหมี่ได้นานขึ้น

<u>ด่าง</u>

ในบะหมี่สูตรจีนจะเติมสารละลายด่างซึ่งอาจเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต ส่วนผสมของโซเดียมคาร์บอเนตและโปตัสเซียมคาร์บอเนต สารละลายด่างจะช่วยให้ลักษณะของโดเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีดังนี้

-ช่วยควบคุมการทำงานของเอนไซม์ α-amylase ซึ่งจะทำงานได้ดีที่ pH 5.0-6.0 ในภาวะที่ pH สูง α-amylase จะทำงานช้าลง การเติมสารละลายด่างจะช่วยทำให้ pH สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้การทำงานของ α-amylase ช้าลงมาก เส้นบะหมี่ที่ได้จะไม่เหนียวติดมือ เนื่องจากไม่มีการแตกตัวของแป้ง

-สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างหรือสารประเภทคาร์บอเนตและฟอสเฟตจะช่วยให้เม็ดแป้งมีการอุ้มน้ำและดูดซับน้ำได้ดีขึ้น ทำให้สตาร์ชในโดมีความหนืดเพิ่มขึ้น ช่วยให้โดมีความทนทานต่อการผสมได้มากกว่าเดิม โดยืดตัวได้มากขึ้นและช่วยให้เส้นไม่ติดกันเพราะผิวนอกของเม็ดแป้งไม่มีน้ำเหลืออยู่ เส้นจึงมีลักษณะแห้ง (ตารางที่ 2.5)

-ทำให้บะหมี่มีสีเหลืองเนื่องจากปฏิกิริยาของด่างและสารฟลาโวนของแป้ง

-ช่วยให้คุณภาพของเส้นหลังการลวกหรือต้มดีขึ้น โดยช่วยให้เส้นมีเนื้อสัมผัสดีทนต่อการต้มได้นาน เส้นไม่เปื่อยง่าย และมีความเหนียว ยืดหยุ่นดีกว่าเส้นบะหมี่ ที่ไม่เติมด่าง

-ทำให้เก็บรักษาเส้นบะหมี่ได้นานกว่าปกติ เนื่องจากด่างมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ด้วย

<u>วัตถุดิบชนิดอื่น</u>

นอกจากส่วนผสมหลักแล้วยังอาจมีส่วนผสมอื่น เติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเส้นบะหมี่ให้เป็นที่พอใจของผู้บริโภค ได้แก่

-ไข่ เป็นส่วนผสมที่เติมเพื่อให้สีและรสชาติดีขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ปกติแล้วปริมาณที่ใช้ต้องไม่มากเกินไป มิเช่นนั้น ไขมันในไข่แดงอาจทำให้โปรตีนไม่จับตัวกัน ทำให้เส้นไม่เหนียวในปัจจุบันการผลิตบะหมี่มักจะไม่นิยมการเติมไข่นอกจากจะสั่งเป็นพิเศษ

-เกลือ polyphosphate จะช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์ protease และ α-amylase ทำให้โดมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น

-โซเดียมซิลิเกต ช่วยทำให้โดเนียนเรียบ

-สีผสมอาหาร ช่วยทำให้เส้นบะหมี่มีสีเหลืองสม่ำเสมอ น่ารับประทานส่วนใหญ่ใช้สีเหลือง บางครั้งจะใช้สีอื่น เช่น สีเขียว ในการผลิตบะหมี่หยก

-แป้งนวล เป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตบะหมี่แม้จะไม่ใช่ส่วนผสมโดยตรง แต่จะโรยบนแผ่นโดที่รีดจนเนียนเรียบได้ที่แล้วก่อนจะตัดเป็นเส้นเพื่อช่วยให้เส้นบะหมี่ไม่เกาะติดกัน แป้งนวลควรเป็นผงละเอียด ดูดน้ำได้ช้าและไม่เหนียว แป้งที่ใช้ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งสาลี เป็นต้น ส่วนใหญ่จะนิยมแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2.5 สมบัติของโดและบะหมี่ซึ่งมีการเติมเกลือและด่าง

ปริมาณที่เติมลงในโด (% ของน้ำหนักแป้ง)	NaCl 1 %	Na_2CO_3 + K_2CO_3 0.6%+0.4%	Na_2CO_3 + K_2CO_3 0.9%+0.1%	NaOH 0.3%	NaOH 1.0%
Viscograph data					
Start of gelatinization					
time (min)	33.0	34.5	35.9	36.7	28.0
temperature (^{0}C)	79.5	82.0	84.0	85.0	72.0
Pasting peak (BU)	784	1233	1240	1089	1785
time (min)	40.6	43.2	43.1	42.9	37.5
temperature (^{0}C)	91.0	95.0	94.6	94.3	86.0
Farinograph data					
Water absorption (%)	59.8	62.0	61.4	67.6	70.9
Development time (min)	6.2	5.3	3.4	3.5	1.4
Breakdown (BU)	53	39	60	103	155
Extensograph data (BU)					
Maximum resistance (BU)	391	744	738	-	-

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ปริมาณที่เติมลงในโด (% ของน้ำหนักแป้ง)	NaCl 1 %	Na_2CO_3+ K_2CO_3 0.6%+0.4%	Na_2CO_3+ K_2CO_3 0.9%+0.1%	NaOH 0.3 %	NaOH 1.0 %
Extensibility (cm)	19.7	13.5	12.9	-	-
Raw noodle properties					
pH	6.2	10.0	9.9	10.0	11.4
Cooked noodle properties					
Water uptake (%)	92	118	119	115	112
pH	6.7	9.8	9.8	9.5	10.4
Optimum cooking time (min)	2.1	4.0	4.0	4.1	4.3

ที่มา : Moss และคณะ , 1985.

คุณภาพของเส้นบะหมี่ขึ้นกับคุณภาพของแป้งสาลีเป็นหลัก แป้งสาลีที่เหมาะสำหรับการผลิตบะหมี่ต้องเป็นแป้งที่โม่จากข้าวสาลีที่มีลักษณะทางเคมีและกายภาพดี ไม่เกิดการงอก เมื่อโม่เป็นแป้งแล้ว ต้องเป็นแป้งที่มี damage starch น้อย มีขนาดเม็ดแป้งสม่ำเสมอ ไม่มีรำและต้นอ่อนปน เป็นแป้งที่มีเอนไซม์ เช่น protease , amylase น้อย มีองค์ประกอบทางเคมีได้สัดส่วนโดยเฉพาะปริมาณและคุณภาพของโปรตีนตรงตามลักษณะของบะหมี่

ชนิดของบะหมี่และกรรมวิธีในการผลิตบะหมี่ของจีน

การผลิตบะหมี่ในประเทศจีนประมาณ 80 % ยังคงทำการผลิตด้วยมือ และอีก 20 %เป็นการผลิตด้วยเครื่องจักร

<u>บะหมี่ที่ทำด้วยมือ</u>

La Mian (Hand-Swung Noodles)

เป็นวิธีทำบะหมี่ที่เก่าแก่ของจีนทำให้ได้บะหมี่ที่มีคุณภาพดี มีเนื้อสัมผัสนุ่มเหนียว ทำได้โดยเมื่อทำผสมแป้งจนเป็นโดดีแล้วจะนำโดมาคลึงเป็นแท่งยาว จากนั้นนำปลายทั้งสองข้างมาทบกันเป็นวง จะใช้การสะบัดก้อนโดพร้อมกับยืด หมุน/บิดและทับไปมา 6 ครั้ง ก็จะได้เป็นเส้นบะหมี่เป็นเส้นยาวถึง 64 เส้น ดังภาพที่ 2.3 (A)

Xiao Dao Qie Mian (Hand-Sheeted and Cut Noodles)

การผลิตบะหมี่วิธีนี้จะนำแป้งมาผสมกับน้ำเย็น นวดให้เข้ากันจนเป็นก้อนโดที่เนียนเรียบ นำมาคลึงให้เป็นแผ่นยาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากนั้นคลึงแผ่นแป้งให้ยืดออกไปจนได้ความหนา 3 มิลลิเมตร มีการโรยด้วยแป้งนวลเพื่อไม่ให้ติดกัน นำแผ่นแป้งซ้อนทับกันและตัดเป็นเส้นด้วยมีดให้ได้เส้นมีขนาด 1.5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2.3 (B)

(A) Hand-Swung Noodles

(B) Hand-Sheeted and Cut Noodles

ภาพที่ 2.3 กรรมวิธีการผลิตบะหมี่ด้วยมือ

ที่มา : Huang ,1996

<u>บะหมี่ที่ผลิตด้วยเครื่องจักร</u>

Gua Mian (Dried Noodles)

เป็นบะหมี่ชนิดแห้งที่มีการผลิตมานาน มีการผลิตกันทั่วไป เนื่องจากเป็นบะหมี่ที่มีราคาไม่แพง สะดวกในการขนส่ง มีการเติมส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มรสชาติและคุณค่าอาหาร เช่น เติม ไข่ไก่ เนื้อสัตว์ สาหร่ายทะเล เป็นต้น ซึ่งการผลิตมีขั้นตอนในการผลิต ดังนี้

การผสม เป็นขั้นตอนแรกในการผลิต ช่วยให้เกิดการผสมกันของแป้ง น้ำและส่วนประกอบอื่น ๆ ทำให้โปรตีน สตาร์ช ดูดน้ำ เกิดโครงร่างกลูเตน การผสมที่ดีและมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะทำให้ได้โดที่มีสีสม่ำเสมอ เนื้อเนียนเรียบ การผสมจะใช้เวลา 10 –15 นาทีซึ่งการผสมจะต้องไม่ทำให้กลูเตนเกิดความเสียหาย และไม่ทำให้โปรตีนในแป้งสาลีเสียสภาพ

การพักโด ขั้นตอนนี้ช่วยให้โปรตีน สตาร์ช มีการดูดน้ำเร็วขึ้น มีการกระจายตัวของความชื้นไปทั่วทั้งก้อนโด ทำให้เกิดโครงร่างของกลูเตนที่ดี การพักโดจะใช้เวลา10-15 นาที

การรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้น เมื่อพักโดแล้วจะนำมารีดให้เป็นแผ่นโดยผ่านชุดลูกกลิ้ง ความหนาของโดจะค่อย ๆ ลดลงประมาณ 40 % ต่อครั้งของการผ่านชุดลูกกลิ้ง และในการผ่านชุดลูกกลิ้งชุดสุดท้าย ความหนาจะลดลง 9-10% โดจะผ่านชุดลูกกลิ้ง 6-7 ชุดก่อนผ่านเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งตัด เพื่อตัดแป้งให้เป็นเส้น

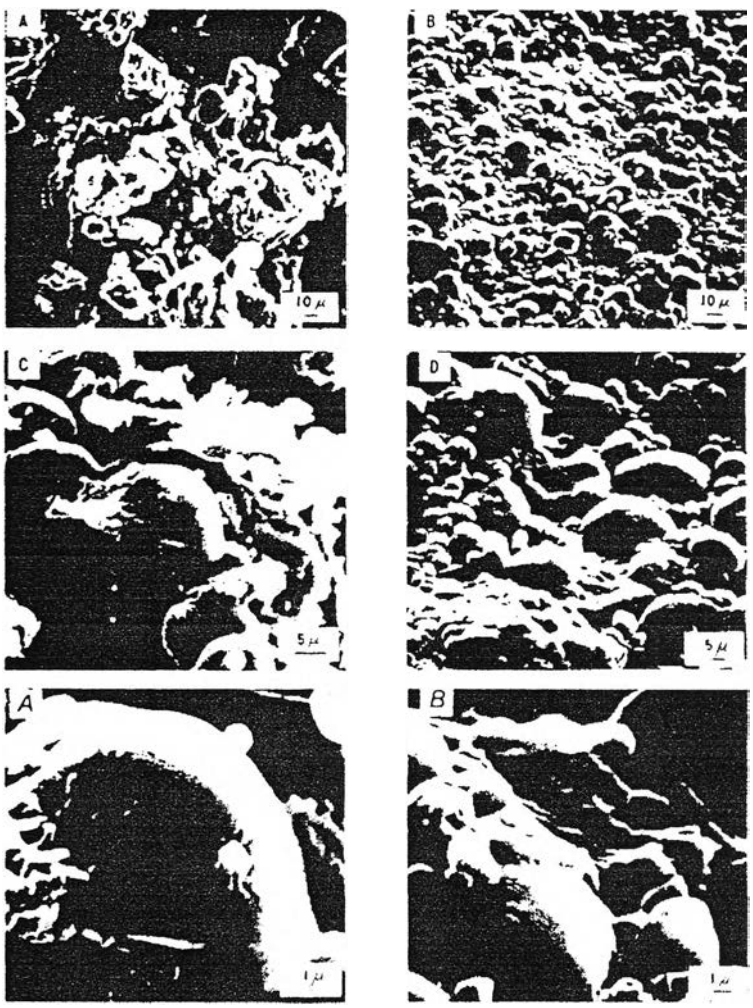
การทำแห้ง มีความสำคัญต่อคุณภาพของบะหมี่ การทำแห้งจะทำโดยใช้อุโมงค์อบแห้ง (tunnel drying) มีการควบคุมความชื้น และอุณหภูมิ ซึ่งมีการปฏิบัติอยู่3 วิธี คือ

1. ใช้อุณหภูมิการอบแห้งต่ำกว่า 50 ^{0}C ไอน้ำจะเป็นตัวให้ความร้อนและเป็นแหล่งของความชื้น บะหมี่จะผ่านอุโมงค์อบแห้งซึ่งยาว 30 เมตร ใช้เวลาในการอบแห้ง 2 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ
2. ใช้อุณหภูมิและความเร็วในการอบแห้งต่ำ แบ่งส่วนของอุโมงค์เป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกมีอุณหภูมิ 35-38 ^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 76-78 % บะหมี่ที่เข้ามาจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่าน 1 ชั่วโมง ความชื้นในบะหมี่จะลดเหลือ 26-28 % จากนั้นจะมาสู่ส่วนที่สอง มีอุณหภูมิ 30-40 ^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 % ใช้เวลา 5 ชั่วโมง ความชื้นในบะหมี่จะลดลงเหลือ 17-18 % และส่วนสุดท้ายจะไม่มีการให้ความร้อนแต่จะเป็นการระบายความร้อนที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 1.5 ชั่วโมง ความชื้นในบะหมี่จะเหลืออยู่ 13.5 –14 % ใช้ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งหมด 396 เมตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีมาก แต่มีการลงทุนที่สูง
3. ใช้อุณหภูมิและความเร็วในการทำแห้งปานกลาง ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 45 ^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 80 % และใช้เวลาในการทำแห้ง 3.5 ชั่วโมง ความยาวอุโมงค์ 45 เมตร เป็นวิธีที่มีการลงทุนต่ำกว่าวิธีที่ 2 ใช้พื้นที่น้อยกว่าและได้ผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่ดีมีคุณภาพสม่ำเสมอ

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของโด

เมื่อนวดแป้งกับน้ำ จะเกิดการจับกันของแป้งกับน้ำเกิดเป็นก้อนโด ซึ่งมีคุณสมบัติของความยืดหยุ่น จากลักษณะการยืดหยุ่น (elastic) ความหนืดข้น (viscous) และลักษณะของพลาสติก (plastic) รวมกัน เป็นผลจากความเปลี่ยนแปลงภายในของแป้ง ทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ เรียกว่า การเกิดรีโอโลยีของโด (dough rheology) หรือวิทยากระแสของโด เป็นผลจากแรงเค้น (stress) แรงเฉือน (shear) และแรงดึง (tensile) ต่อโด ในระยะเวลาและอุณหภูมิเหมาะสม จะได้โดลักษณะยืดหยุ่นดี ซึ่งทำให้เกิดการผิดรูป (deformation) แบบนอนนิวโทเนียน (non-newtonian) มีลักษณะผสมผสานระหว่างความหนืดและความยืดหยุ่น (visco-

elastic) เป็นผลให้โครงร่างและองค์ประกอบทางเคมีในโดเปลี่ยนแปลง โดยมีน้ำที่เติมลงไปเป็นตัวกลางสำคัญ น้ำจะไม่ซึมเข้าไปในแป้งทันที แต่จะเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ บนผิวแป้ง พอออกแรงนวดหรือใช้เครื่องผสม เกิดแรงเค้นและแรงเฉือน ทำให้น้ำซึมเข้าไปในแป้งอยู่ระหว่างเม็ดแป้ง เกิดแรงดึงดูดระหว่างแป้งกับน้ำ เป็นผลจากโปรตีนในแป้งเกิดการรวมตัวกันโดยมีน้ำเป็นตัวเชื่อม กลายเป็นร่างแหของกลูเตนคลุมเม็ดสตาร์ช ซึ่งจะยังไม่ดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิของการผสมโดนี้ ขณะผสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลูเตนไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่กลูเตนมีความยืดหยุ่นเหมาะสมทำ



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของแป้งสาลี (A) กลายเป็นโด (B) มองผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสแกนนิง (Scanning Electron Microscope)

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล ,2540

ให้โดไม่ติดมือหรือติดภาชนะที่ใช้ผสม สามารถดึงยืดให้เป็นฟิล์มบาง ๆ ได้ ถ้าทำการผสมต่อไป จะทำให้เกิดแรงเฉือนและแรงเค้นรวมทั้งแรงดึงร่วมกัน มีผลให้กลูเตนฟิล์มหมดความยืดหยุ่นตัว ทำให้ขาดเป็นสายโดเหนอะหนะติดมือและไหลได้ เนื่องจากการผสมมากเกินไป (ดังภาพที่ 2.4)

ปริมาณน้ำที่เติมพิจารณาจากความชื้นเดิมของแป้ง ซึ่งเป็นปริมาณน้ำชนิดที่เกาะเกี่ยวกับสารอื่นรวมกับน้ำอิสระ โดยทั่วไปมีอยู่ประมาณ 14 % ดังนั้นน้ำที่เติมลงไปจะช่วยให้เกิดการเกาะเกี่ยวของน้ำกับสารอื่นเมื่อมีความชื้นถึง 25 % หรือเท่ากับ 0.33 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักของแป้ง 1 กรัม และเมื่อมีความชื้นถึง 0.54 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักของแป้ง 1 กรัม (ความชื้นประมาณ 35 %) โดจะมีลักษณะที่เหมาะสม มีส่วนของน้ำอิสระประมาณ 10 % (0.11 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักของแป้ง 1 กรัม) และน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลทำให้โดอ่อนนุ่มและมีความลื่น ไม่ติดมือ และสามารถยืดเป็นฟิล์มได้

กลูเตน เกิดจากการรวมตัวของไกลอะดินและกลูเตนินในปริมาณใกล้เคียงกัน โปรตีนส่วนใหญ่ (80-90 %) ในแป้งจะเกิดเป็นกลูเตน โปรตีนของข้าวสาลีจะมีไกลอะดินและกลูเตนินคิดเป็น 45 % และ 40 %ตามลำดับ (Aykroyd และ Doughty, 1970) โปรตีนทั้งสองชนิดนี้จะไม่ละลายน้ำที่ pH เป็นกลางและในสารละลายเกลือเจือจาง ไกลอะดินจะละลายในสารละลายเอธานอล 70 % ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกลูเตนินจะไม่ละลายในสารละลายเอธานอล 70 % ที่อุณหภูมิห้อง (Pomeranz , 1971) โปรตีนอีก 15 % คือ อัลบูมิน (albumins) และโกลบูลิน (globulins) อัลบูมินจะละลายในน้ำและโกลบูลินจะละลายในน้ำเกลือ ไกลอะดินและกลูเตนินก่อให้เกิดโครงร่างของกลูเตนจากการนวดโด เกิดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะทางเคมีระหว่างกรดอะมิโน ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ (covalent) พันธะอิออนิก (ionic) พันธะไฮโดรเจน และพันธะแวน เดอร์ วอว์ล (Van der Waals) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

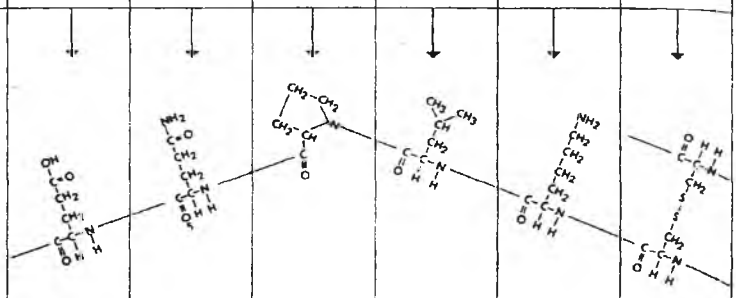
ตารางที่ 2.6 พันธะทางเคมีที่สำคัญในโปรตีนของโด

ชนิดของพันธะ	ลักษณะการเกิด	พลังงาน กิโลแคลอรี/โมล
โควาเลนต์	พันธะระหว่างอะตอมด้วยคู่อิเล็กตรอน	30-100
อิออนิก	พันธะระหว่างประจุตรงกันข้าม	10-100
ไฮโดรเจน	พันธะในลักษณะอิเล็กโทรเนกะทิฟของอะตอมระหว่างไฮโดรเจน (กับออกซิเจน)	2-10
แวน เดอร์ วอว์ล	พันธะที่เกิดระหว่างกลุ่มที่ไม่มีประจุ	มากถึง 0.5

ที่มา : Pyler , 1973

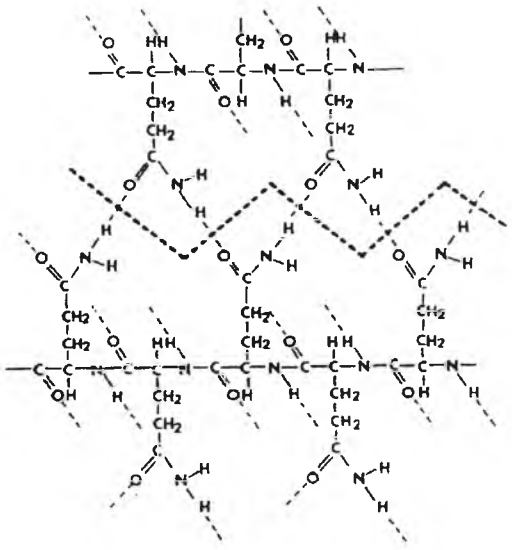
พันธะโควาเลนต์ ในโครงร่างของกลูเตน คือ พันธะเพปไทด์ ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโน ทั้งภายในและภายนอกโมเลกุล ด้วยการใช้อิเลกตรอนร่วมกันระหว่างสองอะตอมทำให้มีพลังงานสูงในการเชื่อมกันเป็นพันธะรวมทั้งพันธะระหว่างซัลเฟอร์ เรียกว่า ไดซัลไฟด์ (disulfide linkage) ของกรดอะมิโนซิสทีนในโปรตีน ซึ่งนับเป็นพันธะที่มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นของกลูเตน โดยเฉพาะในกลูเตนิน

พันธะอิออนิก เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างกลุ่มที่มีประจุตรงข้ามกัน เป็นพันธะที่มีจำนวนน้อยในกลูเตน ส่วนพันธะไฮโดรเจน เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของไนโตรเจนหรือออกซิเจน ถึงแม้ว่ามีแรงยึดเหนี่ยวต่ำ แต่ก็มีจำนวนมากในกลูเตน จึงมีความสำคัญต่อลักษณะโครงร่างของกลูเตนมากกว่าพันธะชนิดอื่น (Campbell , 1972) พันธะแวน เดอร์ วอว์ล เกิดระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุกับกรดไขมันหรือระหว่างสตาร์ชกับกลีเซอไรด์ เป็นพันธะที่อ่อนที่สุด แต่ก็มีผลต่อลักษณะของกลูเตนโดยก่อให้เกิดลักษณะไม่ชอบน้ำ (hydrophobic bonds) ระหว่างกลุ่มของโปรตีนที่ไม่มีประจุ

	กรดกลูทามิก	กลูทามีน	โปรลีน	ลิวซีน	ไลซีน	ซีสทีน
						
ชนิด	กรด	อะไมด์	ชั้นที่สอง	กลาง	เบส	ซัลเฟอร์
ปริมาณ	?-ต่ำ	42%	14%	7%	1.2%	2.1%
ลักษณะ	ประจุลบ	พันธะไฮโดรเจน	สายเพปไทด์ที่บิด	ไม่โพลาร์	ประจุบวก	พันธะ-ข้าม

ภาพที่ 2.5 ลักษณะพันธะทางเคมีของกรดอะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของกลูเตน
ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล , 2540

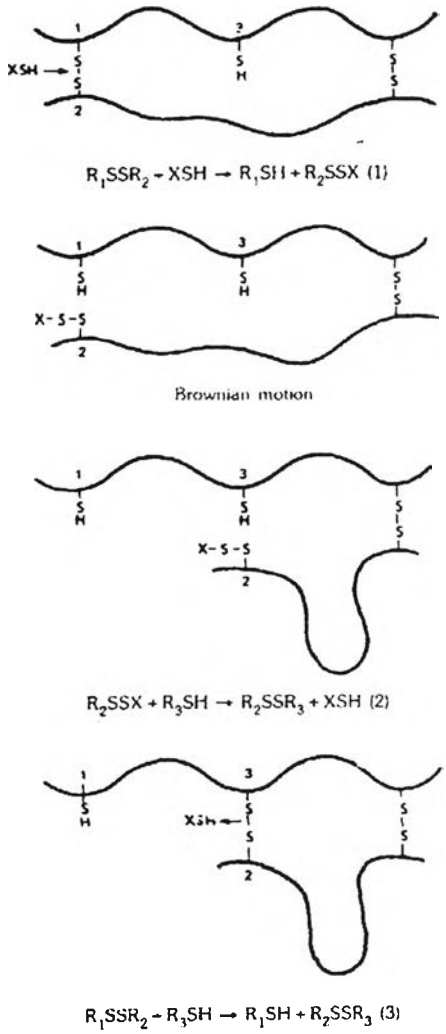
จากภาพที่ 2.5 และ 2.6 พันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีเป็นจำนวนมากถึง 42 % มีความสำคัญต่อโครงร่างของกลูเตนมาก และมักเกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนกลูทามิกในรูปกลูทามีน ปริมาณของกลูตามีน และแอสพาราจีนที่มีปริมาณมากในกลูเตนจะมีหมู่ amide อิสระ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ซึ่งมีผลต่อสมบัติด้าน cohesion ของกลูเตน ส่วนกรดอะมิโนโปรลีนมีผลทำให้เกิดการหักหรือเป็นเกลียวของพอลิเพปไทด์ซึ่งมีประมาณ 14 % พันธะที่เกิดระหว่างกลุ่มอะมิโนที่ไม่มีประจุจะมี 7 %



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการเกาะเกี่ยวของกลูทามีนด้วยพันธะไฮโดรเจน
ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล , 2540

พันธะที่สำคัญอีกชนิดที่มีผลต่อโครงร่างของกลูเตน คือ พันธะไดซัลไฟด์ (ภาพที่ 2.7) เนื่องจากเป็นพันธะที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยวิธีทางกายภาพและเคมี วิธีทางกายภาพเช่น การผสม การนวดจนเป็นโด มีส่วนให้เกิดการเคลื่อนที่ของพันธะ (Brownian motion) จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งทำให้โครงร่างของกลูเตนมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

พันธะไดซัลไฟด์นั้นจะมีอยู่แล้วในแป้งสาลีก่อนการผสมเป็นโด มีปริมาณ 7-17 μEq/g (Campbell , 1972) และจะถูกทำลายหรือเกิดพันธะเพิ่มขึ้นได้ในระหว่างการผสม ซึ่งขึ้นกับสารประเภทรีดิวซ์ (reducing) หรือ ออกซิไดส์ (oxidizing) ที่มีในขณะทำการผสม



$R_1SSR_2 + XSH \rightarrow R_1SH + R_2SSX$ (1)

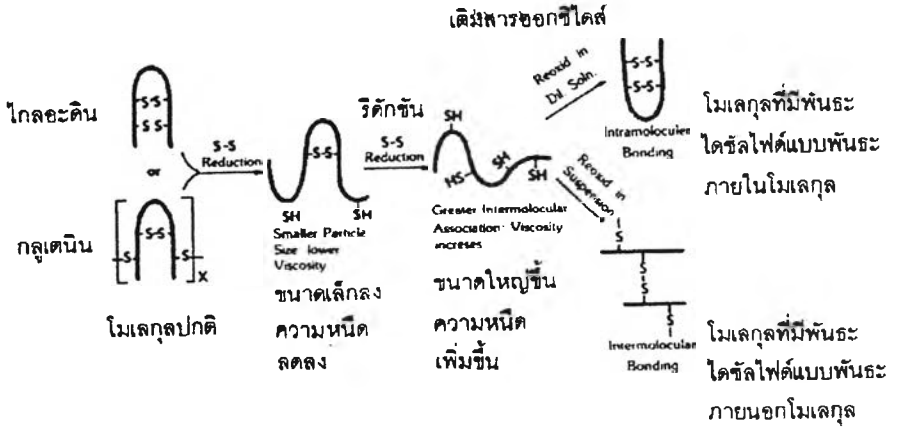
$R_2SSX + R_3SH \rightarrow R_2SSR_3 + XSH$ (2)

$R_1SSR_2 + R_3SH \rightarrow R_1SH + R_2SSR_3$ (3)

ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงโครงร่างและการเคลื่อนย้ายพันธะไดซัลไฟด์ของกรดอะมิโนในกลูเตน

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล ,2540

วิธีทางเคมี โดยการเติมสารเคมีซึ่งมีผลทำให้พันธะไดซัลไฟด์ลดลงหรือเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปสารประเภทรีดิวซ์ ได้แก่ กลูทาไทโอน (glutathione) หรือ ซีสทีอีน ทำให้พันธะไดซัลไฟด์ลดลง กลูเตนจึงมีความยืดหยุ่นลดลง สารประเภทออกซิไดส์ เช่น สารที่มีไอโดเดต และโบรเมตเป็นองค์ประกอบ จะช่วยให้พันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของกลูเตน (ทั้งจากไกลอะดินและกลูเตนิน)

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล ,2540

ในขณะที่ทั้งไกลอะดินและกลูเตนิน ซึ่งมีพันธะไดซัลไฟด์เหมือนกัน แต่ลักษณะพันธะของไกลอะดินจะเป็นแบบเชื่อมกันภายในโมเลกุลมาก (intra molecular bonding) ส่วนกลูเตนินมีพันธะแบบเชื่อมภายนอกโมเลกุลมากกว่าแบบแรก (inter molecular bonding) ลักษณะที่ต่างกันนี้ เนื่องจากองค์ประกอบของกรดอะมิโน ที่เรียงลำดับในสายพอ ลิเปปไทด์ที่ต่างกัน มีผลทำให้โครงร่างและลักษณะของไกลอะดินและกลูเตนินต่างกันในทางกายภาพ ไกลอะดินจะมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 20,000 – 40,000 เนื่องจากมีพันธะเชื่อมภายในเป็นส่วนมาก ส่วนกลูเตนินมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 50,000 – 1,000,000 หรือมากกว่า ทำให้ไกลอะดินมีคุณสมบัติในการไหลยืดได้ดีกว่ากลูเตนินซึ่งมีลักษณะเหนียวคล้ายยาง แต่เมื่อรวมกันเป็นกลูเตนจะได้ลักษณะที่เหมาะสม มีความยืดหยุ่นพอดี

สำหรับประเทศไทยแบ่งประเภทของแป้งทั่วไปเป็น 3 ประเภท คือ แป้งขนมปัง แป้งอเนกประสงค์ และแป้งเค้ก ตามกำหนดของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้อธิบายลักษณะที่ต้องการของแป้งแต่ละประเภทเพื่อประเมินคุณภาพที่ยอมรับได้ของแป้งนั้น ซึ่งในการผลิตบะหมี่สูตรจีน นิยมใช้แป้งอเนกประสงค์ ที่มีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของแป้งสาลีชนิดอเนกประสงค์

ลำดับที่	คุณลักษณะที่ต้องการ	คะแนนเต็ม	คุณสมบัติที่ตรวจ	คะแนนที่ได้	วิธีวิเคราะห์ตาม
1	การขึ้นฟู (baking quality) คิดเป็นปริมาตรจำเพาะ,ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม				
	1.1 เมื่อใช้ทดสอบทำขนมปัง	35	ไม่น้อยกว่า 4.5	35	AACC 10-11
			4.3 - 4.4	30	และข้อ 10.21
			4.0 - 4.2	25	
			น้อยกว่า 4.0	0	
	1.2 เมื่อใช้ทดสอบทำเค้ก	35	ไม่น้อยกว่า 2.7 และไม่มีโพรงอากาศ*	35	AACC 10-90 ข้อ 10.2.1
			2.2 - 2.6 และ/หรือมีโพรงอากาศ* ไม่เกิน 3 โพรง	30	และข้อ 10.2.2
			2.2 - 2.6 และ/หรือมีโพรงอากาศ* เกินกว่า 6 โพรง	25	
			น้อยกว่า 2.2 หรือ ไม่ผ่านการทดสอบตามข้อ 10.2.2	0	
2	โปรตีน, ร้อยละ (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 14)	10	ไม่น้อยกว่า 11.0	10	ข้อ 10.1.2
			10.0 - 10.9	6	
			9.0 - 9.9	3	
			น้อยกว่า 9.0	0	
3	การดูดซึมน้ำ (farinograph water Absorption) , ร้อยละ	5	ไม่น้อยกว่า 60.0	5	AACC 54-21
			59.1 - 59.9	3	
			57.0 - 59.9	2	
			น้อยกว่า 57	0	
4	เวลาที่ใช้ในการผสม (peak mix time), นาที	5	ไม่น้อยกว่า 5	5	AACC 54-21
			ไม่น้อยกว่า 4	3	
			ไม่น้อยกว่า 3.5	2	
			น้อยกว่า 3.5	0	

ตารางที่ 2.7 ต่อ

ลำดับที่	คุณลักษณะที่ต้องการ	คะแนนเต็ม	คุณสมบัติที่ตรวจ	คะแนนที่ได้	วิธีวิเคราะห์ตาม
5	ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไดเอสเทส	5	550 - 650	5	AACC 22-10
	(diastatic activity) , B.U		มากกว่า 650 แต่ไม่เกิน 700 หรือ	3	
			น้อยกว่า 500 แต่ไม่น้อยกว่า 500		
			น้อยกว่า 500 หรือมากกว่า 700	0	
6	เถ้า,ร้อยละ	5	ไม่เกิน 0.44	5	AACC 08-01
	(สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 14)		0.45 - 0.46	3	
			0.47 - 0.52	2	
			มากกว่า 0.52	0	

หมายเหตุ 1.หากเวลาที่ใช้ผสมน้อยกว่า 4นาที และเถ้ามากกว่าร้อยละ 0.5 ให้หักอีก 5 คะแนน

2. * หมายถึง โพรงอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไป

3. ในการหาปริมาณเถ้าให้พิจารณาถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 เท่านั้น

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม , 2524

ถั่วลิสง

ถั่วลิสงเป็นพืชน้ำมัน เมล็ดถั่วลิสงประกอบด้วยน้ำมัน โปรตีน แร่ธาตุและวิตามินที่สูงจึงนิยมใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ ใช้ทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ โปรตีนจากถั่วลิสงใช้เป็นอาหารเสริมพวกธัญพืชและอาหารแป้งอื่น ๆ ซึ่งขาดไลซีนและทริพโตเฟนได้เป็นอย่างดี ถั่วลิสงมีไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง มีทั้งชนิด mono และ polyunsaturated ซึ่งช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ทำให้ลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ การรับประทานถั่วลิสงวันละ 1 ออนซ์ (ประมาณ 30 เมล็ด) จะทำให้ได้รับเส้นใยอาหารถึง 2 กรัม ซึ่งคิดเป็น 8 % ของไยอาหารที่จำเป็นต้องได้รับใน 1 วัน ยังทำให้ได้รับวิตามินอีถึง 25 % ของปริมาณวิตามินอีที่ร่างกายต้องการ ถั่วลิสงยังเป็นแหล่งของเกลือแร่และวิตามิน เป็นแหล่งของแมกนีเซียม ทองแดง ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และสังกะสี อุดมด้วยวิตามินบี โดยเฉพาะอย่างยิ่งโฟเลท (ตารางที่ 2.8) ซึ่งมีส่วนสำคัญในการลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ (www.peanut-institute.org)

ถั่วลิสงแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1.Spanish เป็นพันธุ์อายุสั้น เก็บเกี่ยวภายใน 80-90 วัน เมล็ดมีขนาดเล็ก ให้น้ำมันสูง

2.Valencia เป็นพันธุ์อายุสั้น เก็บเกี่ยวภายใน 90-100 วัน เมล็ดมีขนาดปานกลาง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.Virginia ลักษณะเป็นพุ่ม เก็บเกี่ยวภายใน 100 – 120 วัน เมล็ดมีขนาดโต

4.Virginia ลักษณะลำต้นเลื้อย เก็บเกี่ยวภายใน 130-150 วัน เมล็ดมีขนาดโต

สำหรับพันธุ์ที่มีอายุสั้นจะปลูกสลับกับพืชอื่น ๆ ถั่วลิสงปลูกได้ปีละ 2 ครั้ง คือ ฤดูฝน และฤดูแล้ง ต้องการอากาศร้อนแห้งในระยะเมล็ดแก่และในระยะเก็บเกี่ยว (กิตติ เจิดรังษี, 2530)

<u>แป้งถั่วลิสง</u>

แป้งถั่วลิสงเป็นรูปแบบหนึ่งของผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงประเภทโปรตีนสูงซึ่งมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันไปตั้งแต่ 25 % จนถึง 95 % ขึ้นกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วลิสง กากถั่วลิสง ถั่วลิสงป่น โปรตีนเข้มข้น (protein concentrate) โปรตีนไอโซเลท (protein isolate) และโปรตีนโคไอโซเลท (protein coisolates) แป้งถั่วลิสงซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดผู้บริโภคในปัจจุบันนั้นแบ่งออกได้เป็น(Michell และ Malphrus , 1968)

-แป้งถั่วลิสงไขมันเต็ม ประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 30 % และไขมัน ประมาณ 52 %

-แป้งถั่วลิสงพร่องไขมันบางส่วน ประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 41 % และไขมันประมาณ 31 %

-แป้งถั่วลิสงพร่องไขมัน ประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 59 % และไขมันประมาณ 0.2 %

Ayres และคณะ (1974) และ Steele (1979) ได้รายงานถึงการพัฒนาปรับปรุงการแปรรูปแป้งถั่วลิสงในระดับนำร่อง โดยการนำเอาเมล็ดถั่วลิสงที่ไม่มีตำหนิและไม่มีการปนเปื้อน มาผ่านเครื่องบดและปรับสภาพความชื้นให้เหลือ 10 % ผ่านหม้อนึ่งภายใต้ความดันนาน 45-60 นาที ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส บีบน้ำมันออกโดยใช้เครื่องไล่ (expeller) กากถั่วลิสงที่ได้จะมีน้ำมันเหลืออยู่ประมาณ 8-12 % ปรับความชื้นให้เป็น 10 % อีกครั้ง ก่อนรีดเป็นแผ่นบาง (flake) แล้วสกัดน้ำมันด้วยสารละลายเฮกเซน (hexane) ผ่านไอน้ำเดือดระเหยสารละลาย แล้วผ่านลมร้อนอุณหภูมิ 65.5 – 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที เมื่อระเหยและแยกตัวทำละลายออกหมดแล้ว นำกากถั่วลิสงมาเก็บในถังพัก ก่อนนำมาแยกตามขนาดอนุภาคโดยใช้ตะแกรงร่อน กากถั่วลิสงที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 16 – 60 เมช (mesh) จะเรียกว่า กริท (grit) และกากถั่วลิสงที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 60 เมช นำไปบดอีกครั้งจะเรียกว่าแป้ง (flour) แป้งถั่วลิสงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้เติมลงในสูตรอาหารจากธัญพืช เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน (Ayres และคณะ , 1974) ใช้เติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อเพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะบางอย่าง (Cater และ Rhu , 1975)

ตารางที่ 2.8 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วลิสง

Peanuts, all types, rawNDB No: 16087 Scientific Name: *Arachis hypogaea*

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample Count	Std. Error
Proximates				
Water	g	6.500	31	0.093
Energy	kcal	567.000	0	
Energy	kj	2372.000	0	
Protein	g	25.800	78	0.242
Total lipid (fat)	g	49.240	98	0.297
Carbohydrate, by difference	g	16.140	0	
Fiber, total dietary	g	8.500	0	
Ash	g	2.330	26	0.064
Minerals				
Calcium, Ca	mg	92.000	45	
Iron, Fe	mg	4.580	49	
Magnesium, Mg	mg	168.000	45	
Phosphorus, P	mg	376.000	45	
Potassium, K	mg	705.000	47	
Sodium, Na	mg	18.000	35	
Zinc, Zn	mg	3.270	45	
Copper, Cu	mg	1.144	45	
Manganese, Mn	mg	1.934	44	0.057
Selenium, Se	mcg	7.200	0	
Vitamins				
Vitamin C, ascorbic acid	mg	0.000	0	
Thiamin	mg	0.640	24	0.034
Riboflavin	mg	0.135	20	0.005
Niacin	mg	12.066	24	0.305
Pantothenic acid	mg	1.767	8	0.100

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample Count	Std. Error
Vitamin B-6	mg	0.348	8	0.020
Folate	mcg	239.800	8	15.874
Vitamin B-12	mcg	0.000	0	
Vitamin A, IU	IU	0.000	0	
Vitamin A, RE	mcg_RE	0.000	0	
Vitamin E	mg_ATE	9.130	0	
Lipids				
Fatty acids, saturated	g	6.834	0	
4:0	g	0.000	0	
6:0	g	0.000	0	
8:0	g	0.000	0	
10:0	g	0.000	0	
12:0	g	0.000	0	
14:0	g	0.025	0	
16:0	g	5.154	0	
18:0	g	1.100	0	
Fatty acids, monounsaturated	g	24.429	0	
16:1	g	0.009	0	
18:1	g	23.756	0	
20:1	g	0.661	0	
22:1	g	0.000	0	
Fatty acids, polyunsaturated	g	15.559	0	
18:2	g	15.555	0	
18:3	g	0.003	0	
18:4	g	0.000	0	
20:4	g	0.000	0	
20:5	g	0.000	0	

ตารางที่2.8 (ต่อ)

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample Count	Std. Error
22:5	g	0.000	0	
22:6	g	0.000	0	
Cholesterol	mg	0.000	0	
Phytosterols	mg	220.000	0	
Amino acids				
Tryptophan	g	0.250	128	
Threonine	g	0.883	144	
Isoleucine	g	0.907	140	
Leucine	g	1.672	140	
Lysine	g	0.926	147	
Methionine	g	0.317	22	
Cystine	g	0.331	29	
Phenylalanine	g	1.337	141	
Tyrosine	g	1.049	137	
Valine	g	1.082	141	
Arginine	g	3.085	140	
Histidine	g	0.652	140	
Alanine	g	1.025	135	
Aspartic acid	g	3.146	135	
Glutamic acid	g	5.390	133	
Glycine	g	1.554	134	
Proline	g	1.138	130	
Serine	g	1.271	134	

ที่มา : USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 13 (November 1999)

(www.nal.usda.gov)

ถั่วเขียว

มีแหล่งกำเนิดในเอเชียใต้ จัดเป็นพืชสำคัญชนิดหนึ่งในแถบตอนใต้ของทวีปเอเชีย เช่น อินเดีย พม่า ไทย อินโดนีเซีย และ ฟิลิปปินส์ ปลูกกันบ้างในเอฟริกา ออสเตรเลีย ในประเทศไทยปลูกกันมากในภาคเหนือ และภาคกลาง โดยปลูกสลับกับพืชอื่น ๆ ตลอดทั้งปี ในประเทศไทยมีอยู่หลายสายพันธุ์ แบ่งตามลักษณะเมล็ดและสีของเปลือกได้ 4 ชนิด

1.ถั่วเขียวธรรมดาหรือถั่วเขียวเมล็ดด้าน จัดอยู่ในสายพันธุ์ *Vigna radita*

2.ถั่วเขียวเมล็ดมันใหญ่ จัดอยู่ในสายพันธุ์ *Vigna typica*

3.ถั่วเขียวสีทองหรือถั่วทอง จัดอยู่ในสายพันธุ์ *Phaseolus aureus*

4.ถั่วเขียวผิวดำ จัดอยู่ในสายพันธุ์ *Vigna grandis และ Vigna mungo*

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว พบว่าถั่วเขียวมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรต (สตาร์ช) รองลงมาคือ โปรตีน ซึ่งมีปริมาณ 20-27 % ซึ่งจะขึ้นกับสายพันธุ์ โปรตีนในถั่วเขียวมีองค์ประกอบหลักเป็น globular protein อันได้แก่ globulin (73.4 %) และ albumin (21.8 %) กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนจากถั่วเขียวเป็นแหล่งของกรดอะมิโนไลซีนที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลือง ดังตารางที่ 2.9 กรดอะมิโนอื่นที่มีปริมาณสูงได้แก่ กรดกลูตามิก กรดแอสพาติก ลิวซีน ไอโซลิวซีน แต่จะมีปริมาณของกรดอะมิโนซีสตีน เมธไทโอนีน และ ทริปโทเฟน ที่ต่ำ โดยเฉพาะทริปโทเฟนในบางสายพันธุ์อาจไม่พบเลย เป็นแหล่งของแคลเซียมและวิตามินซี (ตารางที่ 2.10) โปตัสเซียมและเหล็ก (Amarteifio และ Moholo, 1998) นอกจากนี้ยังมี β-carotene ซึ่งทำให้ถั่วมีสีเหลือง (Sanchez , 1983)

ตารางที่ 2.9 ปริมาณกรดอะมิโนเปรียบเทียบระหว่างถั่วเขียวและถั่วเหลือง

ชนิดกรดอะมิโน	ถั่วเขียว	ถั่วเหลือง
ไอโซลิวซีน	5.2	6.2
ลิวซีน	7.5	6.1
ไลซีน	14.3	10.9
เมธไทโอนีน	2.4	2.2
ฟีนิลอะลานีน	5.7	4.8
ทรีโอนีน	3.3	4.0
ทริปโตเฟน	0.7	0.7
วาลีน	5.0	5.7

ที่มา : Sanchez , 1983

ตารางที่ 2.10 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียว

Mung beans, mature seeds, rawNDB No: 16080 Scientific Name: *Vigna radiata*

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample Count	Std. Error
Proximates				
Water	g	9.050	60	0.439
Energy	kcal	347.000	0	
Energy	kj	1452.000	0	
Protein	g	23.860	82	0.371
Total lipid (fat)	g	1.150	65	0.144
Carbohydrate, by difference	g	62.620	0	
Fiber, total dietary	g	16.300	0	
Ash	g	3.320	58	0.099
Minerals				
Calcium, Ca	mg	132.000	49	13.660
Iron, Fe	mg	6.740	55	0.872
Magnesium, Mg	mg	189.000	29	11.294
Phosphorus, P	mg	367.000	48	7.089
Potassium, K	mg	1246.000	18	42.146
Sodium, Na	mg	15.000	12	2.113
Zinc, Zn	mg	2.680	26	0.117
Copper, Cu	mg	0.941	21	0.044
Manganese, Mn	mg	1.035	19	0.076
Selenium, Se	mcg	8.200	0	
Vitamins				
Vitamin C, ascorbic acid	mg	4.800	5	
Thiamin	mg	0.621	19	0.076
Riboflavin	mg	0.233	25	0.024
Niacin	mg	2.251	18	0.193
Pantothenic acid	mg	1.910	8	0.046

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample Count	Std. Error
Vitamin B-6	mg	0.382	18	0.012
Folate	mcg	624.900	8	42.927
Vitamin B-12	mcg	0.000	0	
Vitamin A, IU	IU	114.000	11	14.986
Vitamin A, RE	mcg_RE	11.000	11	1.499
Vitamin E	mg_ATE	0.510	0	
Lipids				
Fatty acids, saturated	g	0.348	0	
4:0	g	0.000	0	
6:0	g	0.000	0	
8:0	g	0.000	0	
10:0	g	0.000	0	
12:0	g	0.000	0	
14:0	g	0.000	0	
16:0	g	0.250	0	
18:0	g	0.071	0	
Fatty acids, monounsaturated	g	0.161	0	
16:1	g	0.000	0	
18:1	g	0.161	0	
20:1	g	0.000	0	
22:1	g	0.000	0	
Fatty acids, polyunsaturated	g	0.384	0	
18:2	g	0.357	0	
18:3	g	0.027	0	
18:4	g	0.000	0	
20:4	g	0.000	0	
20:5	g	0.000	0	

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample Count	Std. Error
22:5	g	0.000	0	
22:6	g	0.000	0	
Cholesterol	mg	0.000	0	
Phytosterols	mg	23.000	0	
Amino acids				
Tryptophan	g	0.260	61	
Threonine	g	0.782	51	
Isoleucine	g	1.008	46	
Leucine	g	1.847	46	
Lysine	g	1.664	383	
Methionine	g	0.286	423	
Cystine	g	0.210	30	
Phenylalanine	g	1.443	46	
Tyrosine	g	0.714	26	
Valine	g	1.237	46	
Arginine	g	1.672	44	
Histidine	g	0.695	44	
Alanine	g	1.050	21	
Aspartic acid	g	2.756	21	
Glutamic acid	g	4.264	21	
Glycine	g	0.954	21	
Proline	g	1.095	19	
Serine	g	1.176	21	

ที่มา : USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 13 (November 1999)

(www.nal.usda.gov)

ในปัจจุบันการนำถั่วเขียวไปใช้ประโยชน์ มักจะอยู่ในรูปของการนำไปใช้ประกอบอาหารทั้งเมล็ด การทำเป็นถั่วงอก ส่วนในระดับอุตสาหกรรมจะเป็นการสกัดสตาร์ชมาผลิตเป็นวุ้นเส้น ก๋วยเตี๋ยว และแป้งชาหริ่ม เนื่องจากในเมล็ดถั่วเขียวมีปริมาณสตาร์ชสูงถึง 51.8 % ซึ่งจากองค์ประกอบทางเคมีจากตารางที่ 2.10 ถั่วเขียวสามารถเป็นแหล่งโปรตีนราคาถูกของมนุษย์ได้ ปัจจุบันได้มีการใช้โปรตีนสกัดจากถั่วเขียวมาผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม (Meat analog) กันอย่างแพร่หลาย ได้มีการทดลองนำแป้งถั่วเขียวทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง ที่ปริมาณ 5 และ 10 % เพื่อปรับปรุงคุณภาพของโดและคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าการเติมแป้งถั่วทดแทนแป้งสาลีเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้ขนมปังที่มีคุณภาพที่ต่ำลงมาก นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้ถั่วเขียวในการผลิตซิอิ้ว (Sanchez , 1983) ซึ่งใช้เวลาในการหมัก 3 เดือนในขณะที่การหมักถั่วเหลืองเพื่อผลิตซิอิ้วจะต้องใช้เวลา 1 ปีหรืออาจมากกว่า

แป้งมันสำปะหลัง

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศที่ใช้มันสำปะหลังในแง่อุตสาหกรรมแป้งและแป้งแปรรูปมากที่สุด มันสำปะหลังส่วนใหญ่ใช้เป็นอาหารสัตว์และมีการส่งออกถึง 80 % ปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ มีอยู่ประมาณ 14-28 % กรมส่งเสริมการเกษตร (2537) ได้รวบรวมพันธุ์ต่าง ๆ ของมันสำปะหลังไว้ทั้งหมด 9 พันธุ์ คือ ระยอง 1 ระยอง 2 ระยอง 3 ระยอง 5 ระยอง 60 ระยอง 90 เกษตรศาสตร์ 50 ศรีราชา 1 และพันธุ์ห้านาที แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ หาได้ง่าย และนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดทั้งอาหารคาวและอาหารว่าง (อรอนงค์ นัยวิกุล , 2533) ส่วนใหญ่ แป้งมันสำปะหลังจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจล 50-68 ^{0}C ซึ่งต่ำกว่าแป้งจากพวกธัญพืช เช่น แป้งสาลี ให้ความหนืดสูง และมีความเหนียว แป้งสุกมีลักษณะโปร่งแสง ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 สมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องRVA

แป้ง	gel temp. ^{0}C	peak vis.	break down	set back	paste type	paste clarity
ข้าวสาลี	52-65	ต่ำ	ต่ำ/ปานกลาง	ปานกลาง/สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวโพด	62-72	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวโพดข้าวเหนียว	63-72	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง
ข้าวฟ่าง	68-78	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวเจ้า	61-78	ปานกลาง	ต่ำ/สูง	ปานกลาง/สูง	สั้น	ทึบแสง

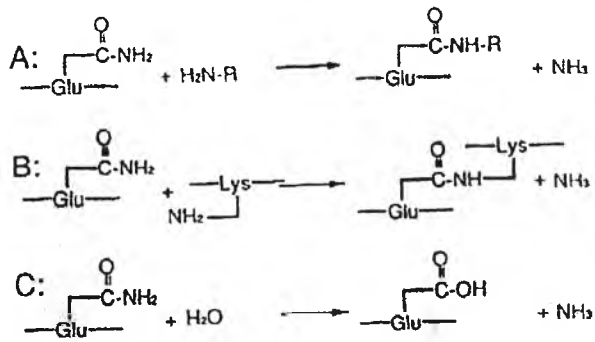
ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

แป้ง	gel temp. ^{0}C	peak vis.	break down	set back	paste type	paste clarity
มันสำปะหลัง	50-68	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง
มันฝรั่ง	56-69	สูง	สูง	ปานกลาง	ยาว	โปร่งแสง
สาคู	60-72	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอต , 2542

<u>เอนไซม์ Transglutaminase (TGase)</u>

เอนไซม์ transglutaminase (protein - glutamine γ - glutamyl transferase , EC.2.3.2.13) สามารถพบได้ทั้งในจุลินทรีย์ พืช และสัตว์ ทำให้เกิดการ crosslink ของกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีน โดยเกิดพันธะโควาเลนต์ เกิดการย้ายหมู่ acyl ระหว่าง γ-carboxyamide ของกรดอะมิโนกลูตามีน และพวก primary amines และถ้าไม่มีกลุ่ม amine เอนไซม์นี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยา hydrolysis ของ γ-carboxyamide ของกรดอะมิโนกลูตามีน ทำให้เกิดการ deamidation เมื่อกลุ่ม ε-amino ของกรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้น ก็จะเกิดพันธะโควาเลนต์ โดยเกิดพันธะ ε-(γ-gtutamyl) lysine ดังภาพที่ 2.9



A : การพันธะของ primary amine และ γ-carboxyamide group ของสายเพพไทด์ของ glutaminyl residue

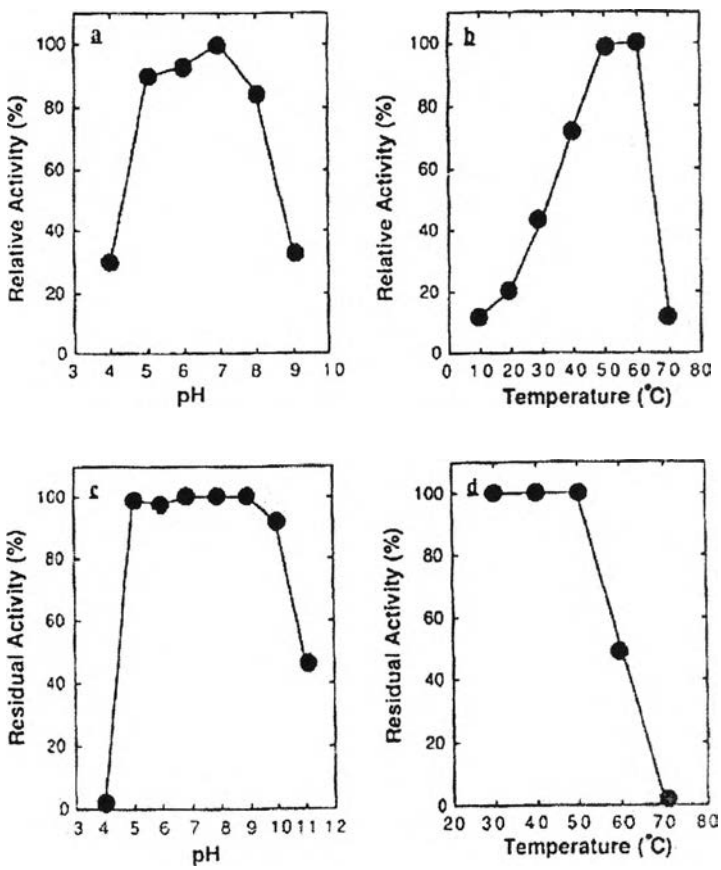
B : การเกิด crosslinking โดยเกิดพันธะ ε- (γ-glutamyl) lysine ระหว่าง γ-carboxyamide group และ ε- amino group ของสายเพพไทด์ใน lysine

C : การเกิด deamidation ของ γ-carboxyamide group

ภาพที่ 2.9 ลักษณะการทำงานของเอนไซม์ transglutaminase

ที่มา : Seguro และคณะ, 1996

เอนไซม์นี้สามารถช่วยในการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของโปรตีนให้ดีขึ้นได้ เช่น การอุ้มน้ำ สมบัติในการละลาย การทนต่อความร้อน เป็นต้น เอนไซม์นี้ถ้ามาจากสัตว์จะต้องมีแคลเซียมเป็นตัวกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยา ในปัจจุบันการผลิตเอนไซม์ชนิดนี้ได้จากกระบวนการหมักเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Streptoverticillium mobaraense* ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาไม่จำเป็นต้องใช้แคลเซียมเป็นตัวกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยา เอนไซม์นี้มีช่วงของ pH ที่เหมาะสมในการทำงานคือ 5 – 8 แต่ก็สามารถทำงานได้ที่ pH 4 หรือ 9 มีความคงตัวในช่วง pH กว้าง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงาน 60 ^{0} C และจะหยุดการทำงานที่ 70 ^{0} C ดังภาพที่ 2.10 สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนเช่น legume globulins , wheat gluten , albumin protein , actins , myosin , fibrins



a : pH-activity profile ; b: temperature-activity profile ; c : pH stability profile

d : thermal stability profile

ภาพที่ 2.10 สมบัติการทำงานของเอนไซม์ Transglutaminase จากเชื้อจุลินทรีย์

ที่มา : Seguro และคณะ , 1996

มีการอนุญาตโดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาให้ใช้ได้ในผลิตภัณฑ์เนื้อและอาหารทะเล โดยจะต้องระบุไว้บนฉลากด้วย ซึ่งระดับที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารทะเล ไม่เกิน 65 ppm และยังสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้ (www.ajinomoto-usa.com)

-เนื้อเทียม/ผลิตภัณฑ์แทนเนื้อเทียม	ที่ระดับไม่เกิน 25 ppm
-เนยแข็งธรรมชาติ	ที่ระดับไม่เกิน 100 ppm
-เนยแข็งขึ้นรูป	ที่ระดับไม่เกิน 250 ppm
-ครีมชีส	ที่ระดับไม่เกิน 70 ppm
-โยเกิร์ต	ที่ระดับไม่เกิน 30 ppm
-ขนมหวานแช่แข็ง	ที่ระดับไม่เกิน 20 ppm

เอนไซม์ TGase นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่pH และอุณหภูมิช่วงกว้าง

บทบาทของโปรตีนในอาหาร

โปรตีนมีหน้าที่สำคัญมากในอาหาร แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ หน้าที่เป็นสารอาหารและหน้าเป็นสารปรุงแต่ง หน้าที่ประการที่สองเกี่ยวข้องกับการประกอบอาหารโดยตรง เป็นหน้าที่ที่ต้องอาศัยคุณสมบัติของโปรตีนที่เรียกว่า คุณสมบัติการใช้งาน (functional properties) แบ่งได้เป็น 5 ประการ คือ หน้าที่ให้คุณภาพทางการับประทาน (ให้สี กลิ่น และลักษณะเนื้อ) หน้าที่ทำให้อาหารกระจายตัว ละลาย หรือพองตัว หน้าที่เป็นสารช่วยเกาะติด (เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เกิดฟอง และทำให้เกิดการดูดซับ) หน้าที่ทำให้อาหารเปลี่ยนรูปและเกิดเจล และหน้าที่เป็นเอนไซม์ (ตารางที่ 2.12)

ตารางที่ 2.12 สมบัติการใช้งานของโปรตีนในอาหาร

คุณสมบัติการใช้งาน	วิธีการทำงาน	อาหารที่เกี่ยวข้อง
การละลาย	ทำให้อาหารละลายน้ำ ขึ้นกับพีเอช	เครื่องดื่ม
การดูดซับน้ำและการจับตัวกับน้ำ	เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เก็บกักน้ำ	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก ขนมปัง ขนมเค้ก
การเพิ่มความหนืด	ทำให้อาหารข้นขึ้น จับน้ำไว้	ซุป น้ำเกรวี่
การเกิดเจล	ทำให้เกิดพื้นเนื้อโปรตีนและแข็งตัว	เนื้อสัตว์ เต้าหู้อ่อน เนยแข็ง
การเกาะติด	ทำหน้าที่เหมือนกาว	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก ขนมอบ
การเพิ่มความหยุ่น	เกิดพันธะไฮโดรเจนในกลูเตนและพันธะแบบไดซัลไฟด์	เนื้อสัตว์ ขนมอบ

ตารางที่ 2.12 (ต่อ)

คุณสมบัติการใช้งาน	วิธีการทำงาน	อาหารที่เกี่ยวข้อง
การเกิดอิมิลชั่น	ทำให้ไขมันกระจายตัวในอิมัลชั่น	ไส้กรอก ซุป เค้ก
การดูดซับไขมัน	เกาะตัวกับน้ำมัน	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก โดนัท
การเกาะตัวกับสารให้กลิ่น	เกิดการดูดซับ เก็บกักกลิ่น	ชิ้นเนื้อเทียม ขนมอบ
การเกิดโฟม	ทำให้เกิดฟิล์มรอบ ๆ ฟองอากาศ	แองเจิ้ลเค้ก

ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์ , 2538

การทำให้เกิดเจล

อาหารหลายชนิดมีลักษณะเป็นเจล เจลที่เกิดจากโปรตีนมีความหนืดสูงมาก ทำให้อาหารมีลักษณะปั้นได้ (plasticity) และยืดหยุ่น อาหารที่เกิดเจล เช่น ไข่ตุ๋น เต้าหู้ ลูกชิ้น หมูยอ โยเกิร์ต เป็นต้น อาหารเหล่านี้เมื่อมีลักษณะเป็นเจล โครงสร้างจะอุ้มน้ำได้ดีและเก็บกักส่วนผสมอื่น ๆ ไว้ อาหารจะเกิดเจลได้จะต้องได้รับความร้อนก่อน ความร้อนจะทำให้โมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ระยะแรกโมเลกุลโปรตีนยืดตัวออก ต่อมาโมเลกุลเหล่านั้นจะเข้ามามีพันธะกันโดยจับตัวกันใน 3 ทิศทาง ซึ่งขั้นนี้จะใช้เวลาสั้น ๆ การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้โมเลกุลยืดตัวออกมาก จะให้เจลแข็งและเนื้อละเอียด (กล้าณรงค์ นิยมวิทย์ , 2538) เมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลที่ยืดตัวออกแล้วจะจับตัวกันอย่างช้า ๆ โดยใช้พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไฮโดรเจน พันธะไอโอนิก หรือพันธะไฮโดรโฟบิก ดังนั้นในขั้นที่สองนี้จะเกิดโครงร่างของโปรตีนขึ้น

การทำให้อาหารมีความหนืดสูงขึ้น

โปรตีนมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ ทำให้เกิดการพองตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความหนืดจะแสดงการละลายของโปรตีน โปรตีนที่ละลายน้ำได้ดี เช่น อัลบูมิน และโกลบูลิน จะทำให้อาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้นไม่มากนัก โปรตีนที่ละลายน้ำได้ปานกลาง เช่น โซเดียมเคซีเนต จะให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นมาก ความหนืดจึงเป็นตัวชี้การละลายที่ดีมาก ปัจจัยที่ผลต่อโครงสร้างของโปรตีนและการจับตัวกันของโมเลกุลโปรตีนจะมีผลต่อการพองตัวและความหนืดของอาหาร (Pomeranz, 1991)

การเกิดโฟม

โปรตีนหลายชนิดทำหน้าที่เป็นสารช่วยเกาะติดได้ดี หุ้มฟองอากาศไว้และเกิดเยื่อบางที่มีความเหนียวมากพอที่จะป้องกันไม่ให้ฟองอากาศแตกและรวมตัวกันได้อีก มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการเกิดโฟมของโปรตีน เช่น แหล่งโปรตีน วิธีการเตรียมโปรตีน องค์ประกอบของโปรตีน การละลาย ความเข้มข้น พีเอช อุณหภูมิ น้ำตาล และไขมัน (Kinsella , 1976) การตกตะกอนของโปรตีนทำให้ผนังของฟองแข็งตัว ความอยู่ตัวของโฟมจึงเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดฟองมาก (Mitchell , 1986) พีเอชจะมีผลต่อการเกิดโฟมของโปรตีนมาก การเกิดโฟมจะดีมากที่สุดที่พีเอชสูงกว่า isoelectric point เล็กน้อย

การเกิดอิมัลชั่น

ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่มีโปรตีนเป็นส่วนผสมและอยู่ในลักษณะอิมัลชั่น เช่น มายองเนส ไส้กรอก วิปปิ้งครีม เป็นต้น อาหารเหล่านี้จะมีโปรตีนเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ โปรตีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์แตกต่างกัน การเกิดอิมัลชั่นเกี่ยวข้องกับกรดอะมิโนไม่มีขั้วบนผิวโมเลกุลเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดอิมัลชั่นเป็นผลมาจากการดูดซับโมเลกุลโปรตีนไว้บนผิวของเม็ดน้ำมัน กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วจะทำให้โปรตีนสามารถเกาะตัวอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมันได้ โดยจะแทรกเข้าไปอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมัน และหันส่วนที่มีขั้วออกสัมผัสกับน้ำ ดังนั้นโปรตีนที่มีสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่มีขั้วสูงจะทำให้เม็ดน้ำมันดูดซับได้มาก อิมัลชั่นจึงเกิดได้ดีและจะต้องมีการละลายน้ำได้ดีด้วย (Pomeranz ,1991) อัลบูมินจะเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ได้ดีกว่าโกลบูลิน (Sathe และ Salunkhe,1981) เมื่ออาหารมีเกลือเข้มข้น 0.5 – 2.0 โมลาร์ และ pH 4.0-7.8 เกลือจะทำให้โปรตีนละลายน้ำดีขึ้น (Kinsella,1976)

การจับกับน้ำ

การจับกับน้ำได้ของโปรตีนเกิดจากกลุ่มไนโตรเจนและออกซิเจน นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำยังสามารถจับกันได้เอง โปรตีนจึงมีโมเลกุลน้ำเกาะอยู่เป็นกลุ่มใหญ่ ถ้าอาหารมีสารอื่นๆ ที่สามารถจับตัวกับน้ำได้อยู่ด้วย จะเกิดการแย่งจับกับน้ำกัน สารอิเลกโตรไลต์ น้ำตาล อัลกอฮอล์ ฯลฯ จะแย่งจับน้ำกับโปรตีน โปรตีนแต่ละชนิดสามารถจับน้ำได้ไม่เท่ากัน ขึ้นกับกรดอะมิโน ที่ประกอบกันเป็นโปรตีน โปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่มีขั้วจำนวนมากจะจับกับน้ำได้ดี (Kuntz ,1971) albumin และ globulin มีความสามารถในการจับกับน้ำได้แตกต่างกันเนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบและรูปร่างของโปรตีน (Sathe และ Salunkhe , 1981)

การจับกับน้ำมัน

การจับกับน้ำมันของโปรตีนมีความสำคัญมากในพวกเนื้อเทียม หรือโปรตีนสำหรับผสมกับเนื้อสัตว์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะลื่นไหลได้ดีเมื่ออยู่ในปาก ทำให้มีความรู้สึกดีเมื่อรับประทาน และยังทำให้มีกลิ่นเหมือนกับเนื้อสัตว์ และกลิ่นก็ไม่จางหายไปเมื่อได้รับความร้อน (Kinsella , 1976) ชนิดของโปรตีนก็มีผลต่อการจับกับน้ำมันของโปรตีนพบว่าโปรตีนเข้มข้น (protein concentrate) จะมีความสามารถในการจับกับน้ำมันสูงกว่า albumin globulin ในโปรตีนจากถั่ว Great Northern Bean (Sathe และ Salunkhe , 1981)

การทำให้เกิดโครงสร้างที่ดีในขนมอบ

โปรตีนในแป้งสาลี แป้งข้าวบาเลย์ และแป้งข้าวไรน์ สามารถจับตัวเป็นก้อนแป้ง (dough) ได้ถ้ามีปริมาณน้ำที่เหมาะสม ก้อนแป้งที่ได้จะมีลักษณะหนืด ยืดหยุ่นดี สามารถยืดออกได้ดีเมื่อนำไปอบ ทำให้เกิดโครงสร้างที่ดีสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ เมื่อมีการนวดในขณะทำการผสมแป้งกับน้ำเข้าด้วยกัน น้ำจะจับตัวกับโมเลกุลโปรตีน บางส่วนของโมเลกุลจะคลายตัวออก โดยเฉพาะโมเลกุลกลูเตนิน (glutenin) หลังจากนั้นโมเลกุลโปรตีนที่คลายตัวออกแล้วจะหันมาจับกันในสามทิศทาง เกิดเป็นร่างแห โดยใช้แรงที่ประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ และพันธะไฮโดรโฟบิก ผลที่ได้คือ กลูเตน ชนิดและลำดับของกรดอะมิโนในโปรตีนมีความสำคัญต่อการเกิดก้อนแป้ง (Pomeranz , 1991)

การทำให้อาหารเกาะตัว

การที่โปรตีนเกาะตัว ดูดซับ หรือดูดซึมองค์ประกอบอื่น ๆ ได้ จึงมีความสำคัญต่อคุณภาพอาหาร เกาะตัวหมายถึง การทำหน้าที่ของโปรตีนโดยการเป็นตัวกลางให้อาหารรวมตัวกันเป็นของเหลว เป็นของเหลวกึ่งแข็ง หรือเป็นของแข็ง สามารถป้องกันองค์ประกอบที่ระเหยได้ระเหยออกไป เช่น น้ำ สารให้กลิ่น เป็นต้น อาหารที่ต้องการการเกาะตัวกันได้แก่ ไส้กรอก คัสตาร์ด เจลลี่ ซึ่งคุณสมบัติในการเกาะตัวกันของโปรตีนขึ้นอยู่กับ pH และกำลังไอโอนิกของอาหาร ปัจจัยทั้งสองมีผลต่อประจุและขนาดของโมเลกุลโปรตีน โปรตีนส่วนที่ไม่มีประจุจะจับตัวกับไขมันได้ดี ทำให้อาหารที่มีไขมันสูงเกาะตัวกัน (Kinsella , 1976) ในเนื้อสัตว์โปรตีนที่ละลายน้ำเกลือได้มีความสำคัญมาก ทำให้เนื้อเกาะตัวกันแน่น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จำพวกแฮม ไส้กรอก หมูยอ แหนม สำหรับโปรตีนชนิดอื่น ๆ ที่ช่วยให้เนื้อสัตว์เกาะตัวกันได้ดี คือ โปรตีนถั่วเหลือง และนมผง (Pomeranz , 1991)

I2005296

ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเสริมโปรตีน

อาหารซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี อาหารประเภทเส้น (Pasta) จัดเป็นอาหารที่มีการบริโภคมากเป็นอันดับสองรองจากขนมปัง (Mariani-Constantini,1988) และได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากเป็นอาหารที่มีราคาไม่แพง มีวิธีการปรับปรุงที่ไม่ยุ่งยาก มีรสชาติดีและยังสามารถเก็บไว้ได้นาน (Pagani ,1986 ; Riley,1987) อาหารประเภทเส้นเหล่านี้ได้แก่ สปาเก็ตตี้ อูด้ง ก๋วยเตี๋ยวและบะหมี่ ซึ่งวัตถุดิบหลัก คือ แป้งสาลี (*Triticum* sp.) บะหมี่ในแถบเอเชียจะมีโปรตีน 10-12 % (Shelke และคณะ ,1990) มีการปรับเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเส้นนี้ให้เพิ่มขึ้น ด้วยการทดแทนในส่วนของแป้งสาลีด้วยแป้งถั่ว และโปรตีนเข้มข้น Jeffers , Noguchi และ Rubenthaler (1979) นำแป้งจากถั่ว yellow pea , green pea , navy bean และถั่วเหลือง ทดแทนบางส่วนในแป้งสาลีที่ใช้ในการผลิตเส้นอูด้ง ซึ่งชนิดของแป้งถั่วที่ใช้มีผลต่อคุณภาพของอูด้ง ปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้นทำให้คุณภาพโดยรวมของเส้นอูด้งลดลง การทดแทนด้วย yellow pea จะทำให้เส้นอูด้งเป็นสีเหลืองน้ำตาล และการทดแทนด้วยแป้งถั่วเหลืองจะให้สีเหลืองออกเขียว ซึ่งการทดแทนด้วยแป้งถั่วเพื่อให้เส้นอูด้งมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับไม่ควรเกิน 5-10 %

Bahnassey และ Khan (1986b) ได้ผลิตสปาเกตตี้จากแป้งสาลีดูรัมซึ่งทดแทนด้วยกลูเตนจากแป้งสาลี แป้งและโปรตีนเข้มข้นจากถั่ว pinto navy และ lentil เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในสปาเกตตี้ การทดแทนด้วยแป้งและโปรตีนเข้มข้นจากถั่วมีผลทำให้มีการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น มีความคงตัวและเวลาในการเกิดโดนานขึ้น แต่มีความต้านทานต่อการผสมที่ลดลง สปาเกตตี้ที่ได้จากการทดแทนด้วยแป้งและโปรตีนเข้มข้นจากถั่วจะมีการแตกหักได้ง่ายกว่า น้ำหนักหลังต้มสุกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อทดแทนด้วยโปรตีนเข้มข้น สปาเกตตี้ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วจะมีการยอมรับสูงกว่าที่ทดแทนด้วยโปรตีนเข้มข้น การทดแทนที่ปริมาณ 25 % จะทำให้มีกลิ่นถั่วที่แรงทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับ การทดแทนด้วยแป้งและโปรตีนเข้มข้นจะทำให้มีปริมาณโปรตีน เถ้า แร่ธาตุ และเยื่อใยเพิ่มขึ้น (Bahnassey และคณะ ,1986a ; Bergman , Gualberto และ Weber ,1994. ; Lee , Baik และ Czuchajowska , 1988.) และทำให้มีปริมาณและองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นสมบูรณ์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกรดอะมิโนไลซีนและกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ

การทดแทนด้วยแป้งจากถั่วบางชนิด เช่น ถั่วเหลือง (Haber , Seyam และ Banasik , 1978.) cowpea (Bergman และคณะ ,1994.) garbanzo bean (Lee และคณะ , 1998.) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่การเสริมด้วยแป้งถั่วบางชนิดมีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์ด้อยลง เช่น แป้งถั่วลิสง (Chompreeda , Resurreccion , Hung และ Beuchat , 1987.;1988)

การเสริมด้วยแป้งถั่วเหลืองในเส้นก๋วยเตี๋ยว (Siegel , Bhumiratana และ Lineback , 1975.) ที่ปริมาณการทดแทนถึง 30 % ยังเป็นที่ยอมรับได้ของเด็กวัยก่อนเรียนในประเทศไทย

การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรือโปรตีนเข้มข้น ในผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเพื่อปรับเพิ่มปริมาณและความสมดุลขององค์ประกอบโปรตีนจะมีผลต่อคุณภาพ ซึ่งปริมาณการทดแทนจะขึ้นกับชนิดของแป้งถั่วและการทดแทนด้วยแป้งถั่วจะเป็นที่นิยมมากกว่าการใช้โปรตีนถั่ว (protein isolate) ซึ่งมีราคาสูงและให้กลิ่นผิดปกติในผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้โปรตีนถั่วเหลืองทดแทนในบะหมี่