

การตรวจเอกสาร

กุ้ง(Shrimp)

1. ลักษณะทั่วไปของกุ้ง

กุ้งจัดอยู่ใน Phylum Arthropoda และ Class Crustacea เลือดกุ้งประกอบด้วยสารพวก Haemocyanin ซึ่งเป็นสารประกอบของทองแดง จึงทำให้เลือดของสัตว์ประเภทกุ้งมีสีฟ้ากว่ากันว่า เม็ดเลือดของกุ้งมีประมาณ 1,000-50,000 เซลล์ ต่อซี.ซี.ของเลือด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ การกินอาหารและช่วงของการลอกคราบจะมีการปรับปริมาณความเข้มข้นของสารประเภทเกลือภายในตัวเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น มีการสำรองแคลเซียมในเลือดให้สูงขึ้นกว่าปกติ เพราะว่าแคลเซียมจะถูกดึงไปใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ทันทีที่มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง และดึงน้ำเข้าตัวทำให้ปริมาณความเข้มข้นของอินอออนิก ไอออน จางลงทันทีที่น้ำเข้าไป (ประจวบ, 2527)

2. ส่วนประกอบทางเคมีของกุ้ง

กุ้ง (Prawns และ shrimps) มีความชื้น 67.5-84.8 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8.9-23.2 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.1-3.2 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.3-6.8 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 2.2 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนที่กินได้ และมีพลังงาน 69-99 กิโลแคลอรี แคลเซียม 124-160 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 218-280 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ของส่วนที่กินได้ (อำนาจ, 2524)

เปลือกกุ้ง (Shrimp shell)

1. โครงสร้างของเปลือกกุ้ง

1.1 ชั้นที่สะสมสี (pigmented layer) อยู่ใต้เอพิคิวติเคิล และเหนือชั้นที่มีการสะสมเกลือแคลเซียม ชั้นนี้ก่อนการลอกคราบจะย่นแต่ยังคงสภาพเดิมไว้ประกอบด้วยไคตินรวมกับเกลือแคลเซียม และจุดสีพวกเมลานินหรือ tanned protein เซลล์ชั้นนี้เรียงกันอย่างหลวมๆ

1.2 ชั้นที่มีการสะสมเกลือแคลเซียม (calcified layer) ประกอบด้วยไคตินที่ไม่มีสี มีเกลือแคลเซียมปริมาณค่อนข้างสูง

1.3 ชั้นที่ไม่มีการสะสมเกลือแคลเซียม (uncalcified layer) เป็นชั้นในสุดของเปลือกกุ้งที่ไม่มีแคลเซียมมีสารประกอบของไคตินและโปรตีนอยู่บนชั้นของเนื้อ epithelium

2. องค์ประกอบของเปลือกกุ้ง

เปลือกกุ้งป่นมีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งโปรตีน และแหล่งแร่ธาตุในอาหารสัตว์ เนื่องจากมีโปรตีน แคลเซียม และฟอสฟอรัส ในระดับที่สูง ซึ่งองค์ประกอบทางโภชนาการของเปลือกกุ้ง

โดยภาพรวมแล้วเปลือกกุ้งมีโปรตีนอยู่ในช่วง 22.80-56.95%, ไขมัน 0.95-9.80%, เถ้า 15.64-56.00%, เยื่อใย 1.18-29.75%, แคลเซียม 0.75-16.69%, ไคติน 9.82-30.44% และพลังงาน 938-2,595 Kcal/kg ซึ่งองค์ประกอบทางโภชนาการของเปลือกกุ้งที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ แหล่งที่มา สายพันธุ์กุ้ง และวิธีการแปรรูป (Meyers et al.,1973; Ngoan, et al., 2000)

3. การนำไปใช้ประโยชน์

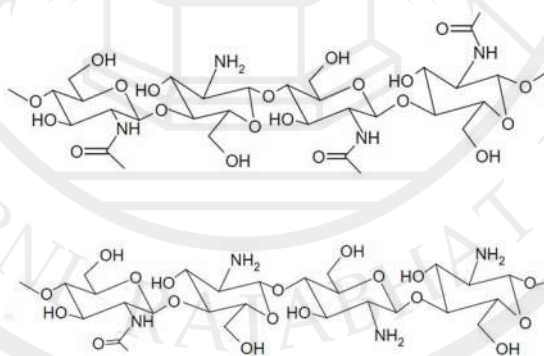
เปลือกกุ้งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการส่งออกกุ้งแช่แข็ง ซึ่งการส่งออกกุ้งในลักษณะดังกล่าวส่วนใหญ่มักมีการนำส่วนของหัว และเปลือกกุ้งออก หรือการนำทั้งส่วนหัว เปลือกและหางกุ้ง

ออกด้วย จึงทำให้เกิดผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการส่งออกกุ้งแช่แข็ง ที่ประกอบด้วยส่วนหัว เปลือก และหางกุ้ง (Exoskeleton) ซึ่งสามารถนำไปเป็นเศษเหลือไปใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งโปรตีนจากสัตว์ที่มีศักยภาพโดยการนำไปบดทำเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ และสารสี Astaxanthin ที่เป็นองค์ประกอบในเปลือกกุ้งสามารถใช้ในการเพิ่มสีในเนื้อหรือไข่ได้ นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้งและหัวกุ้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่านั้น โดยเฉพาะส่วนของสารโพลีแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นไบโอโพลิเมอร์ที่เรียกว่า ไคติน (Chitin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่มากในเปลือกกุ้งและหัวกุ้ง โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์หลายด้านทั้งในอุตสาหกรรมยา เคมี เครื่องสำอาง อาหารและเครื่องดื่ม ตลอดจนการใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการนำเศษเหลือจากกุ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (จรณ์, 2552)

ไคติน (Chitin)

ไคติน เป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติประเภทโพลิเมอร์ (Polymer) โมเลกุลใหญ่ที่เกิดจากโมเลกุลย่อยอย่างน้อย 5 ตัวขึ้นไปมาต่อกัน โดยมากมักต่อกันเป็นร้อยหรือเป็นพันตัวมีโครงสร้างเป็นโฮโมโพลิแซ็กคาไรด์ของ *N*-acetylglucosamine ที่จับกันด้วยพันธะแบบ β (1 \rightarrow 4) ไม่ละลายน้ำ กรด และต่าง โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์สิ่งมีชีวิตไคตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดองปู เปลือกกุ้ง หอย แมลง แกนปลาหมึก และยีสต์ เป็นต้น (จรณ์, 2552)

ไคโตซาน เป็นเป็นอนุพันธ์ของไคติน ได้จากการนำไคตินไปผ่านกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิล ทำให้หมู่อะซิตามีนของไคตินถูกเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน โดยทั่วไปมักจะพบไคตินและไคโตซานอยู่ด้วยกันในลักษณะเป็นโคโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ เป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุบวกแสดงดังภาพที่ 1 (จรณ์, 2552)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน (Mourya and Inamdar, 2008)

1. แหล่งของไคติน

ในธรรมชาติสามารถพบไคตินซึ่งมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยส่วนมากพบในรูปที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนปะปนอยู่กับสารอื่น ๆ เช่น อยู่รวมกับหินปูน หรือแคลเซียม และโปรตีน แหล่งสำคัญของไคตินสามารถพบได้ในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นเปลือกนอกของสัตว์พวกแมลง ปู กุ้ง และแกนปลาหมึก นอกจากนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเห็ดรา และสาหร่ายบางสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แหล่งของไคติน

Marine	Insects	Microorganisms
Annelida	Scorpions Green algae	Mollusca
Spiders Yeast (b-type)	Coelenterata	Brachiopods Fungi (cell walls)
Crustaceans: Penicillium	Ants	Mycelia
Lobster	Cockroaches	Brown algae
Crab	Beetles	Spores
Shrimp		Chytridiaceae
Prawn		Ascomydes
Krill		Blastocladiaceae

ที่มา: Mathur and Narang, 1990

2. กระบวนการผลิตไคติน และไคโตซาน

กระบวนการผลิตไคติน และไคโตซานมีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้ (จรรณี, 2552)

1) กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteinization) โดยการทำให้ปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ (NaOH) หรือ KOH ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกไปจากวัตถุดิบพร้อมกับบางส่วนของไขมันและรงควัตถุบางชนิดจะถูกขจัดออกไปด้วย อย่างไรก็ตามการพิจารณาใช้กระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้

2) กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (Deminerlization) โดยการนำวัตถุดิบหรือวัตถุดิบซึ่งผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้วมาทำปฏิกิริยากับกรด ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กรดเกลือ (HCl) ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (Calcium carbonate, CaCO₃) ซึ่งจะถูกกำจัดออกไปโดยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO₂) พร้อมกันนี้บางส่วนของรงควัตถุและโปรตีนที่ละลายได้ในกรดจะถูกกำจัดออกไป วัสดุที่ได้หลังจากกระบวนการกำจัดเกลือแร่คือไคติน (Chitin)

3) กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล (CH₂CO-) ที่มีอยู่บนโมเลกุลของไคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน(Chitosan) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่เอมีโน (-NH₂) บนโมเลกุลของไคติน และหมู่เอมีโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลายซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น เพราะมีสมบัติเป็นประจุ

บวก(Cation) ส่วนใหญ่เมื่อหมู่อะซีติลถูกกำจัดไปมากกว่า 60% สารโคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในน้ำมากขึ้น

3. การนำโคติน และโคโตซานไปใช้ประโยชน์

โคตินและโคโตซานสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้แพร่หลาย ทั้งด้านวัสดุทางการแพทย์และเภสัช ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย โดยเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวอย่างช้า จึงไม่ส่งผลใด ๆ ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคบริโภค ในด้านการเกษตร โคโตซานใช้เป็นสารเคลือบเมล็ดข้าวสารเพื่อป้องกันเชื้อรา ใช้โคตินในการเตรียมดินสำหรับเพาะปลูกทำให้ลดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในดินได้ นอกจากนี้พบว่าการใช้โคตินในอาหารไก่เนื้อในระดับ0.5%สามารถเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่เนื้อได้ (Ramachandran et al, 1987) และจากการที่โคโตซานเป็นสารโพลีเมอร์ที่อุ้มน้ำ การนำมาห่อหุ้มต้นอ่อนจะช่วยให้มีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยาใช้โคติน และโคโตซานในการรักษาบาดแผล เพื่อใช้ในการรักษาแผลผ่าตัด และไฟไหม้ ซึ่งจะช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น ทำผลิตภัณฑ์แผ่นปิดตกแต่งแผล ด้ายเย็บแผล ซึ่งข้อดีคือจะสลายตัวอย่างช้าๆและถูกดูดซับเข้าร่างกาย โดยไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย ใช้เป็นเลนส์สายตา ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด ใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว ใช้ผลิตผนังเทียมเช่น ผนังไต ใช้เป็นสารลดโคเลสเตอรอล และใช้เป็นสารเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม และด้านอุตสาหกรรม ใช้โคโตซานเป็นสารก่อให้เกิดอิมัลชัน การจับกับสี การเกิดแผ่นฟิล์ม การเกิดเจล และการเป็นสารลดแรงตึงผิว จึงประยุกต์ใช้โคติน-โคโตซานได้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่นในอุตสาหกรรมอาหารจะใช้โคโตซานเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารหรือยืดอายุของผลไม้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ การทำให้ผลไม้ใส ตกตะกอนไวน์ขาวและไวน์แดง เนื่องจากไม่มีผลต่อสีของไวน์ ตลอดจนจากการวิจัยในสัตว์หลายชนิดพบว่าการบริโภคโคโตซานสามารถลดปริมาณโคเลสเตอรอลในเลือดได้ ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โคโตซานถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความข้นเหนียวในครีมเป็นส่วนผสมในโลชั่นเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผมครีมนวดผม และครีมปรับสภาพ ใช้เป็นส่วนประกอบในแป้งแต่งหน้า เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น ความเรียบ รวมทั้งได้มีการนำสารโคโตซานมาใช้ในโฟมล้างหน้า เพื่อการรักษาความสะอาด และลดความมันบนใบหน้า สำหรับในอุตสาหกรรมกระดาษ โคโตซานได้ถูกใช้เพื่อเป็นสารช่วยการยึดติดโดยใช้เพียง 1% โดยน้ำหนักกระดาษที่ได้จะมีความทนทานเพิ่มขึ้นรวมทั้งอุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ และการถ่ายภาพนอกจากนี้ยังใช้เป็นสารตกตะกอนในการบำบัดน้ำเสีย ใช้กำจัดโลหะหนัก และสารพิษโดยเฉพาะสารกัมมันตภาพรังสี นอกจากนี้ยังได้มีการนำโคโตซานไปช่วยจับสารกัมมันตรังสี ตลอดจนยังมีการนำโคโตซานมาผสมกับพลาสติกเพื่อใช้ในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ (จรรยา, 2552)

4. คุณสมบัติของโคตินในการเป็นสารพรีไบโอติก และสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน

4.1คุณสมบัติในการเป็นสารพรีไบโอติก

พรีไบโอติก เป็นส่วนประกอบของอาหารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในระบบทางเดินอาหารของคนหรือสัตว์ และมีประโยชน์ต่อคนและสัตว์ที่ได้รับอาหารนั้น โดยพรีไบโอติกจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตหรือการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ และส่งผลให้สุขภาพของคนและสัตว์มีสุขภาพที่ดีขึ้น (Collins and Gibson, 1999) โดยพรีไบโอติกเป็นแหล่งสารอาหาร

สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ทำให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้น และไปแย่งที่อยู่อาศัยกับจุลินทรีย์ที่เป็น โทษ ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่มีโทษมีจำนวนลดลง และใช้เป็นสารเสริมภูมิคุ้มกัน (Dlabac and Kawasaki, 1994) ซึ่งโคตินก็มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับพรีไบโอติกในการเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยเอนไซม์จากระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ แต่จะเป็นแหล่งสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ โคตินจึงเป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่ที่น่าสนใจในการเป็นสารพรีไบโอติกซึ่งมีประโยชน์ต่อสัตว์ โคตินมีโมโนเมอร์เป็น *N-acetylglucosamine* ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณลำไส้ใหญ่ จากรายงานของ Chen et al., (2002) กล่าวว่าจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารสัตว์สามารถย่อยสลายโคตินหรือโคโตซานได้เป็นสาร *Glucosamine*, *N-acetylglucosamine* และ *Oligomer* ชนิดต่างๆ เพื่อใช้สารเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ การเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Bifidobacteria* spp. และ *Lactobacillus* spp. ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย และมีประโยชน์ทางอ้อมในการช่วยลดจำนวนของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค (Pathogenic bacteria) เนื่องจาก *Bifidobacteria* spp. และ *Lactobacillus* spp. จะผลิตกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid) ซึ่งมีผลช่วยควบคุมจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ เช่น *Clostridium perfringens*, *Salmonella* spp. และ *E. coli* กรดไขมันสายสั้นที่พบส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะซิติก (Acetic acid) กรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้มีผลทำให้ค่า pH ลดลง ส่งผลไปยังการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นโทษได้ สอดคล้องกับ Van der Wielen et al. (2000) ที่รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันสายสั้นชนิด โพรพีโอนิก และบิวทีริก ใน Digesta บริเวณลำไส้ส่วนซีกัม จะส่งผลต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *Salmonella* และ *E. coli* ได้ตามลำดับ จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นโทษที่ลดลงจะส่งผลโดยตรงกับปริมาณการผลิตแอมโมเนียในมูลของสัตว์ เนื่องจากแอมโมเนียเกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ซึ่งการลดลงของจุลินทรีย์ให้โทษดังกล่าวเป็นผลทำให้ปริมาณแอมโมเนียในมูลของสัตว์ลดลง ซึ่งการที่สัตว์ปลดปล่อยแอมโมเนียปริมาณลดลงจะส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมอีกด้วย (จรรณี, 2552)

4.2 คุณสมบัติในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (Immune)

จากรายงานของ Okawa et al.,(2003) ที่พบว่าโคตินสามารถเพิ่มการทำงานของเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ (Monocyte) นิวโทรฟิลล์ (Neutrophil) และแมคโครฟาจ (Macrophage) ซึ่งเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์มีคุณสมบัติในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย และหากมีปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์อยู่ในช่วงที่สูงแต่ยังไม่เกินค่าในช่วงปกติ (2-6%) แสดงว่าเซลล์มีความสามารถต่อต้านสิ่งแปลกปลอมและเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี (กนกธร, 2546) นอกจากนั้นการเพิ่มของเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์จะส่งผลกระตุ้นการทำงานของแมคโครฟาจให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลาย และตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกายของเซลล์แมคโครฟาจควบคุมการหลั่ง Cytokines เช่น Interleukins เพื่อกระตุ้นการสื่อสารระหว่างเซลล์ต่าง ๆ ในระบบภูมิคุ้มกัน และช่วยกระตุ้นการหลั่ง Colony stimulating factors เพื่อเพิ่มปริมาณการสร้าง และการเจริญเติบโตของเม็ดเลือดขาว เช่น นิวโทรฟิลล์ และอีโอซิโนฟิลล์ (Eosinophils) จากไขกระดูก ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เซลล์แมคโครฟาจในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่จะ

เข้ามาสู่ร่างกาย เมื่อแมคโครฟาจตรวจพบจุลินทรีย์ที่ก่อโรคหรือการติดเชื้อ เซลล์แมคโครฟาจจะทำการโอบล้อมเซลล์จุลินทรีย์ที่ก่อโรคและทำลายในที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า Phagocytosis โดยเซลล์แมคโครฟาจจะทำการฆ่าจุลินทรีย์ที่ก่อโรคหรือเชื้อโรคต่าง ๆ โดยการสร้าง Toxic free radicals หรือไลโซไซม์(Lysozyme) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายชั้น Peptidoglycan ของผนังเซลล์ของเซลล์จุลินทรีย์ ก่อให้เกิดการทำลายเมมเบรนของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและเชื้อโรค ส่งผลให้เชื้อโรคถูกทำลายซึ่งกระบวนการทำงานของเซลล์แมคโครฟาจ (จรณ์, 2552)

5. ข้อจำกัดของไคติน

ไคตินเป็นสารโพลีแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ที่ผลิตจากระบบทางเดินอาหารสัตว์ เนื่องจากระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ไม่สามารถผลิตเอนไซม์ที่ใช้ย่อยไคตินคือไคติเนส (Chitinase) (Jeuniaux and Cornelius, 1978) แต่เอนไซม์ดังกล่าวจะถูกผลิตโดยจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นการมีไคตินในระดับที่สูงเกินไปในอาหารสัตว์จะส่งผลในการขัดขวางการย่อย และเป็นตัวจำกัดในการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาการ (Austin et al., 1981; Fanimo et al., 1996; Oduguwa et al., 2004; Khempaka et al., 2006a ; Khempaka et al., 2006b)

แป้ง

1. ความสำคัญของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น

บทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและ น้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็ง (freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชัน (pasteurization) และสเตอริไรเซชัน (sterilization) เป็นต้น นอกจากนี้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรม-กาว และอุตสาหกรรมแป้งตัดแปรรูป เป็นต้น

คำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวัวร์ (flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวัวร์ เรียกว่า corn flour, wheat flour เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7 ถึง 8% ก็เรียกว่า rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วน

ใหญ่จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (starch) เช่น corn starch, wheat starch เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

2. ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัวและการละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งแล้ว สามารถแบ่งแป้งออกเป็น 3 ชนิด คือ แป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนราก และแป้งจากส่วนหัว

(1) แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ชั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุดเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งอะไมโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ

(2) แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางลำต้น (pith) เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลาทีไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช

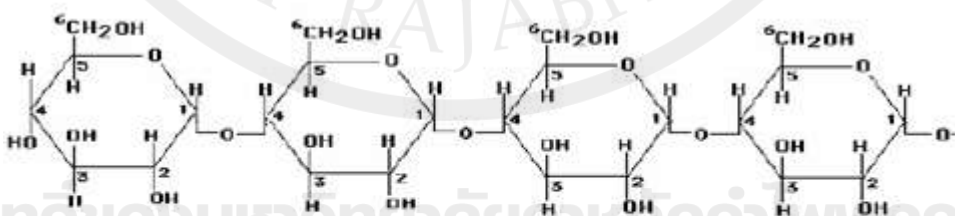
(3) แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงชั้นเดียว และเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte)

3. สมบัติของแป้ง (Properties Starch)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 1 : 5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldenhyde group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือพอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกติน)วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

3.1 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage ดังภาพที่ 2



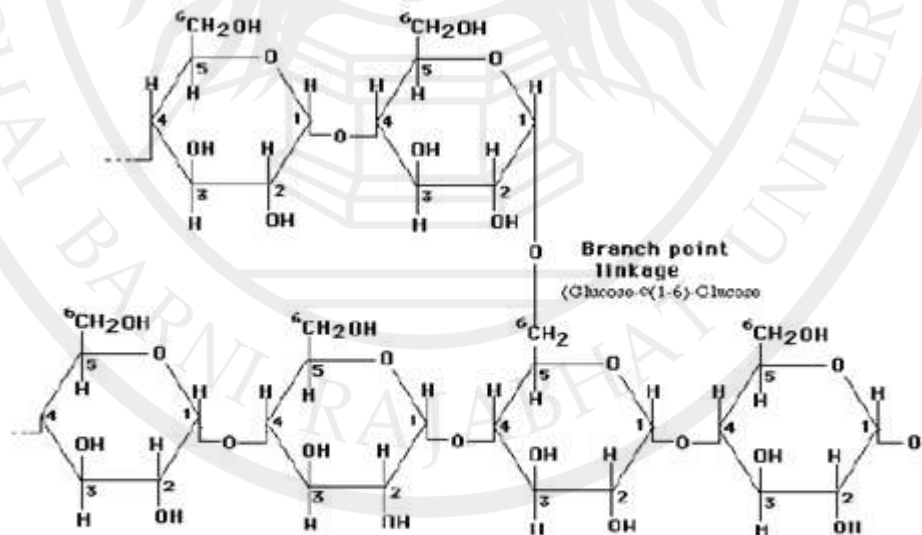
ภาพที่ 2 โครงสร้างอะไมโลส

ที่มา : กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543)

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น butanol , fatty acid , surfactant , phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้ อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพกติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) อะไมโลสที่มีขนาดใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่กับอะไมโลเพกติน อยู่ใจกลางเม็ดแป้ง สำหรับอะไมโลสขนาดเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คล้ายตัว (interrupted helix) หรือ ม้วนอิสระ (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คล้ายตัว อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 มีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระและจะไม่ละลายในสารละลาย สำหรับอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจจะมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง

3.2 อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างอะไมโลเพกติน

ที่มา : ก้านมรงค์และเกตุกุล (2543)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6-glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5 % ของปริมาณหน่วย กลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด DP ของอะไมโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 เท่าของอะไมโลส คือประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย (chain) 3 ชนิด คือ 2.1 สาย A (A - chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

2.2 สาย B (B - chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8 - 0.9: 1

2.3 สาย C (C - chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ 1 หมู่ ในอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

อะไมโลเพกตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้น เมื่ออะไมโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน(กล้านรงค์และเกื้อกุล, 2543) คุณสมบัติของ อะไมโลสและอะไมโลเพกตินสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200- 2000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับ ตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: กล้านรงค์และเกื้อกุล (2543)

3. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิดดังตารางที่ 3

3.1 ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่า 1 % ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้ง ดังนั้น ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้งโดยสกัดด้วยตัวทำละลายหรือย่อยสลายโดยใช้ไขมัน

ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วย triglyceride free fatty acid glucolipids phospholipids และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวม ๆ แป้งจากพืชหัวและจากถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง สำหรับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มีไขมันภายในเม็ดแป้งซึ่งมีสมบัติและปริมาณไขมันแตกต่างกัน ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียก (paste) ไขมันจะไม่อึดตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะไมโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี มีกลิ่นแรงกว่า แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เนื่องจากมีองค์ประกอบของไขมันสูง (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ความชื้น 65% RH , 20°C	% ไขมัน	% โปรตีน	% เถ้า	% ฟอสฟอรัส
แป้งข้าวโพด	13	0.6	0.35	0.1	0.015
แป้งมันฝรั่ง	19	0.05	0.06	0.4	0.08
แป้งสาลี	14	0.8	0.4	0.15	0.06
แป้งมันสำปะหลัง	13	0.1	0.1	0.2	0.01
แป้งข้าวโพดข้าว เหนียว	13	0.2	0.25	0.07	0.007
แป้งข้าวฟ่าง					
แป้งข้าวเจ้า	13	0.7	0.3	0.08	-
แป้งสาคุ	-	0.8	0.45	0.5	0.1
แป้ง	-	0.1	0.1	0.2	0.02
amylomaize	13	0.4	-	0.2	0.07
แป้งมันเทศ	13	-	-	0.1	-

ที่มา: กล้าณรงค์และเกื้อกุล (2543)

3.2 ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1 % โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดแป้งมีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิด maillard reduction ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโน

กับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป (โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง) (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

3.3 เถ้า

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้ โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเถ้าในแป้งจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิปิด (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

3.4 ฟอสฟอรัส

แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่ต่ำกว่า 0.1 % โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูป phospholipid ประมาณ 0.02 ถึง 0.06 % และสำหรับแป้งจากพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่ง มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสประมาณ 0.3 ถึง 0.4 % ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ C3 และ C6 ของหน่วยกลูโคส แป้งมันฝรั่งมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสจึงทำให้มีประจุพื้นผิวเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบจะทำให้แป้งมันฝรั่งมีคุณสมบัติพองตัวง่าย และมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543)

4. ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ การแบ่งรูปแบบความหนืดของแป้งที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้งสามารถแบ่งได้ 4 แบบ ดังนี้

แบบ a : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (high-swelling starches) เช่น แป้งมันฝรั่ง (potato starch) แป้งข้าวฟ่าง (waxy sorghum starch) แป้งจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งกระจายตัวออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงขึ้นน้อยกว่าและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

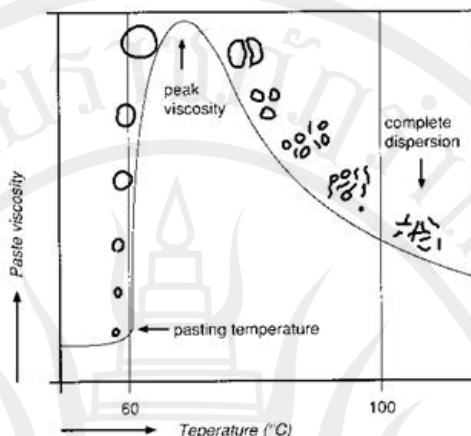
แบบ c : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย (restricted-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ และแป้งครอสลิงหรือพันธะข้าม (cross-linked หรือ cross bonded) วิธีครอสลิงทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างการต้มสุก

แบบ d : กราฟจากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (highly-restricted swelling starches) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดอะมิโลเมสซึ่งมีอะไมโลส 50 ถึง 80%

5. การเกิดเจลาตินในเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิด ความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาตินในซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลง ความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาตินในซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

การเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (รูปที่ 4) คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้าง birefringence เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า เจลาตินในเซชัน เม็ดแป้งจะเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆได้ดีกว่า (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)



ภาพที่ 4 แสดงระยะในการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้ง
ที่มา : กล้าณรงค์และเกื้อกุล (2543)

6. การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลส ขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขรุขระและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจล และโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมาจนเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะไมโลส อะมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation), แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และยูเรีย (urea) (Swinkels, 1985)

ปริมาณและขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคั่นตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคั่นตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพกทินสูง อัตราในการคั่นตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของอะไมโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคั่นตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะไมโลสที่คั่นตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกทินจะมีผลทำให้เกิดการคั่นตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคั่นตัวที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดเหนียวจะมีอัตราการคั่นตัวของแป้งต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะไมโลสในแป้งข้าวโพดเหนียว สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการคั่นตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องมาจากในแป้งธัญพืชมีปริมาณอะไมโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) มีอะไมโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูง ทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมัน (amylase-lipid complex) (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

บะหมี่

บะหมี่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเส้นที่ชาวจีนค้นคิดขึ้น มีส่วนประกอบของแป้งสาลี และน้ำเป็นส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่ อาจมีไข่ เกลือและสารละลายต่างหรือสีผสมอาหารถ้าแบ่งตามสูตรจะมีบะหมี่แบบจีนและบะหมี่แบบญี่ปุ่น บะหมี่แบบจีนนั้น ทำจากแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ที่มีโปรตีนประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับด่างโซเดียมคาร์บอเนต 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์ และเกลือ 1.5 เปอร์เซ็นต์ บะหมี่ที่ได้จะมีสีเหลือง ส่วนบะหมี่แบบญี่ปุ่น จะทำจากแป้งสาลีโปรตีนต่ำ หรือ แป้งผสมระหว่าง soft wheat และ hard wheat เพื่อให้มีโปรตีนประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำ 28-33 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นต่าง ทำให้บะหมี่มีสีขาวเนื้ออ่อนนุ่ม

บะหมี่สด (Alkaline Fresh Noodle) ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในประเทศไทย การผลิตบะหมี่สดในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน มีกำลังการผลิตต่ำ นิยมผลิตเพื่อจำหน่ายในระยะเวลาลำสั้น โดยนิยมนำมาลวกหรือต้มให้สุกและปรุงรส เป็นบะหมี่น้ำ,แห้ง, หรือเป็นก๊วยห่อ ซึ่งพบว่าแหล่งผลิตและจำหน่ายบะหมี่สดในประเทศไทยมีอยู่มากมาย โดยปกติผู้ผลิตบะหมี่สดมักจะนำมาขายในลักษณะร้านขายบะหมี่ ก๊วย ของตนเองเป็นส่วนใหญ่ ทำให้คุณภาพของบะหมี่จากแต่ละแหล่งผลิตมีความแตกต่างกันไป ผู้ผลิตบางรายได้รับความนิยมสูงจึงมีการจัดจำหน่ายขยายวงกว้างออกไปเป็นลักษณะของธุรกิจเฟรนด์ชาแยส์ หรือผู้ผลิตบางรายจัดจำหน่ายส่งขายใน ซูเปอร์มาร์เก็ต เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การผลิตบะหมี่สดยังคงมีอัตราการผลิตไม่สูง เนื่องจากมีอายุการเก็บโดยเฉลี่ยประมาณ 3 วัน จากนั้นจะเกิดการเสื่อมเสียขึ้น (อรอนงค์, 2540 ; Kruger et al, 1996)

1. บะหมี่แบ่งตามวิธีการผลิต แบ่งออกเป็น 6 ชนิด คือ

1.1 บะหมี่สด ทำได้จากการผสมแป้งสาลีกับน้ำและส่วนผสมอื่น ได้แก่ สารละลายเบส ไข่ เกลือ และอาจใส่สีเหลืองที่ใช้ใส่อาหารได้ลงไป ผสมจนเป็นโดเรียบเนียน มีความชื้นประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ และพักไว้ 10-20 นาที นำมารีดให้มีความหนาประมาณ 1.5-2.0 มิลลิเมตร ตัดเป็นเส้นกลมหรือแบนขนาดเล็กหรือใหญ่ หรืออาจทำเป็นแผ่นบางๆ เรียกว่า แผ่นก๊วย จัดเป็นบะหมี่ที่ยังดิบอยู่ นิยมทำเพื่อบริโภคทันทีหรือภายใน 1-2 วัน โดยก่อนบริโภค ต้องนำมาลวกหรือต้มให้สุกและ

ปรุงรสตามความนิยม อาจใส่หมูแดง ลูกชิ้น เครื่องใน หอม ผักชี ทำเป็นบะหมี่น้ำหรือบะหมี่แห้ง หรือเป็นเกี๊ยวห่อด้วยหมู ลวกหรือต้มด้วยน้ำร้อน อาจนำไปทอดก่อนแล้วจึงนำมาเป็นเครื่องปรุงในบะหมี่ อีกส่วนหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการปรุงบะหมี่สดของชาวไทยโดยได้รับอิทธิพลในการบริโภคและการประกอบอาหารเส้นประเภทบะหมี่นี้มาจากชาวจีนเป็นส่วนใหญ่

1.2 บะหมี่สุก เมื่อนำบะหมี่สดมาลวกให้ผิวนอกของเส้นสุกเพื่อเป็นการทำลาย จุลินทรีย์และช่วยให้เก็บได้นานขึ้น คลุกด้วยน้ำมันเพื่อไม่ให้เส้นติดกันง่ายบะหมี่สุกนี้将有ความชื้น ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อบริโภคก็นำมาลวกให้สุกทั้งหมดอีกครั้ง แล้วปรุงรสตามชอบ

1.3 บะหมี่แห้ง เพื่อให้สามารถเก็บบะหมี่สดไว้ได้นานขึ้น จึงได้พัฒนากรรมวิธีโดย นำบะหมี่สดมาทำให้แห้ง ด้วยการตากแดดอย่างช้าๆ หรือการนำเข้าสู่ตู้อบควบคุมความร้อนให้ค่อยๆ สูงขึ้นอย่างเหมาะสม เพื่อให้เส้นบะหมี่ค่อยๆ แห้งลงจากความชื้น 35 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 8-10 เปอร์เซ็นต์ วิธีการทำแห้งนี้ต้องระมัดระวังมากเพื่อไม่ให้เส้นบะหมี่แห้งเปราะและหักง่าย จึงต้องทำ เป็นลำดับ 3 ขั้นตอน โดยขั้นที่ 1 ลดความชื้นของเส้นบะหมี่จาก 35 เปอร์เซ็นต์ ลงเหลือ 24 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็น เวลา 30-40 นาที ขั้นที่ 2 ลดอุณหภูมิของตู้อบลงเป็น 28-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 72-77 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการกระจายความชื้นในเส้นให้สม่ำเสมอ ขั้นที่ 3 จะควบคุมอุณหภูมิของตู้อบให้อยู่ ระหว่าง 25-28 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 68-72 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งบะหมี่แห้งมี ความชื้นเพียง 8-10 เปอร์เซ็นต์

1.4 บะหมี่ทอด วิธีการทอดเป็นการลดความชื้นของบะหมี่สด เพื่อให้เก็บได้นานขึ้น เป็นอีกวิธีหนึ่งที่รวดเร็วกว่าการทำแห้งโดยความร้อนและเมื่อต้องการบริโภคจะต้มบะหมี่สุกเร็วกว่า บะหมี่แห้งธรรมดา จึงเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเพิ่มเติมและดัดแปลงกรรมวิธีต่อไปเป็น บะหมี่ทอดสำเร็จรูป

1.5 บะหมี่แห้งสำเร็จรูป กรรมวิธีการทำบะหมี่แห้งสำเร็จรูปนี้ ปรับปรุงจากการทำ บะหมี่สด โดยนำมาผ่านไอน้ำทำให้สุกขึ้นหนึ่งก่อนแล้วจึงนำมาจับรวมเป็นก้อนขนาดเหมาะสม ทำให้ แห้งโดยวิธีการอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ เมื่อแห้งดีแล้ว将有ความชื้นเหลืออยู่ 10-13 เปอร์เซ็นต์ นำมาบรรจุซองพร้อมกับซองเล็กใส่เครื่องปรุง ทั้งในรูปผงหรือน้ำมัน ผลิตภัณฑ์นี้จะเก็บได้นานเป็นปี เมื่อต้องการบริโภคก็นำมาต้มให้สุกเพิ่มขึ้น ปรุงรสด้วยเครื่องปรุง หรืออาจเติมเนื้อและผักตาม ความชอบ

1.6 บะหมี่ทอดสำเร็จรูป เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเก็บได้นานและ นำมาบริโภคได้ง่าย เพียงลวกน้ำร้อนเดือด 3-5 นาที หรือต้มโดยใช้เวลาน้อยกว่าบะหมี่แห้งสำเร็จรูป ปรุงรสได้หลายรส รสชาติดี ทำโดยการนำบะหมี่สดมาอบไอน้ำร้อน จับเส้นให้เป็นกลุ่มขนาดเท่ากัน และนำหนักคงที่ที่เหมาะสมต่อการบริโภค 1 ขาม นำไปทอดในน้ำมันร้อนเดือด ด้วยการจุ่มให้น้ำมัน ท่วมเส้นบะหมี่ทั้งหมด เมื่อสุกทำให้สะเด็ดน้ำมัน ทิ้งให้เย็น บรรจุซองรวมกับซองเครื่องปรุงต่างๆ บะหมี่ชนิดนี้将有ความชื้นเพียง 5-8 เปอร์เซ็นต์ จึงเก็บได้นานโดยที่ไม่มีกลิ่นเหม็นหืน จึงทำให้นิยม บริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย (อรอนงค์, 2540)

2. สูตรของบะหมี่

บะหมี่ที่ชาวเอเชียนิยมบริโภคมีสูตรการทำแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือตามความนิยมของชาวจีน จะทำจากแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ที่มีโปรตีนประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับเบส เช่น โซเดียมคาร์บอเนต 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์ และเกลือ 1.5 เปอร์เซ็นต์ อาจมีการเติมไข่หรือไม่เติมในบางสูตรก็ได้ บะหมี่ที่ได้จะมีสีเหลืองมีความเหนียวและยืดหยุ่น

ส่วนลักษณะบะหมี่ตามความนิยมของชาวญี่ปุ่น ทำจากแป้งสาลีโปรตีนต่ำ 9-10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำ 28-33 เปอร์เซ็นต์ และเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่เติมเบสจะให้บะหมี่มีสีขาว นุ่ม และ ไม่เหนียว (อรอนงค์, 2540) สูตรพื้นฐานการผลิตเส้นบะหมี่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สูตรพื้นฐานของบะหมี่ทั่วไป

ส่วนผสม	ชนิดของบะหมี่				
	เปียกหรือสุก %	แบบญี่ปุ่น (แห้ง)%	แบบจีน (แห้ง)%	กึ่งสำเร็จรูป %	ไข่ %
แป้ง	100	100	100	100	100
น้ำ	35-40	28-33	30-35	30-35	อาจไม่ใส่
เกลือ	1-2	2	1-1.5	-	1
เบส	1-2	-	1.5	0.5-1	1-1.5
ไข่	-	-	-	-	10-40
สารอื่น (เช่นสารให้สี)	เล็กน้อย	-	-	เล็กน้อย	เล็กน้อย

ที่มา : อรอนงค์ (2540)

3. วัตถุดิบในการผลิตบะหมี่

3.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักของบะหมี่ ซึ่งมีปริมาณถึง 90-95 เปอร์เซ็นต์ ในสูตร ดังนั้นลักษณะของเส้นบะหมี่ทั้งทางกายภาพและทางเคมี จึงมีผลมาจากแป้งเป็นส่วนใหญ่ แป้งสาลีที่มีลักษณะเหมาะสมในการทำบะหมี่จีน โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 แป้งทำบะหมี่จีนอย่างดี ควรจะเป็นแป้งที่สกัดจากข้าวสาลีในเปอร์เซ็นต์ต่ำ เป็นแป้งจากส่วนเนื้อในเมล็ดตรงใจกลาง มีความสามารถในการดูดซึมน้ำ 64.4 ± 1.1 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะการยัดตัวที่วัดได้จากเครื่องเอกซ์เทนซิกรรภาพ ประมาณ 24.5 ± 1.1 ซม. มีแรงต้านการยัดตัวประมาณ 471 ± 34 อี.ยู. แป้งขาว นวล มีเถ้าประมาณ 0.40 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนประมาณ 12.5 ± 0.6 เปอร์เซ็นต์ มีเอนไซม์ในแป้งน้อยวัดเป็นค่ามอลโทสได้ 174 ± 18 มิลลิกรัม มีความหนืดเนื่องจากสตาร์ชในแป้งเหมาะสมโดยมี

เวลาถึงจุดสูงสุด 43.3 ± 0.3 นาที และค่าดีเท่ากับ 60 ± 16 อี.ยู. เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งทั่วไปจะมีช่วงของการยอมรับกว้างขึ้น

ส่วนแป้งทำบะหมี่ญี่ปุ่น นิยมใช้แป้งชนิดอ่อนโปรตีนประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ เป็นแป้งสีขาว มีเม็ดสตาร์ชเสียหายน้อย มีความหนืดสูงซึ่งหมายถึงมีเอนไซม์ในแป้งน้อย ให้ความยืดหยุ่นเหมาะสม โดยเฉพาะความยืดตัวและความนุ่มมีมากกว่าโดของแป้งที่ใช้ทำบะหมี่จีนองค์ประกอบสำคัญในแป้งซึ่งมีผลต่อลักษณะเส้นของบะหมี่ ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน เอนไซม์และสี เนื่องจากสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักที่มีในแป้งมากที่สุดประมาณ 67 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น สตาร์ชจึงเป็นโครงสร้างของเส้นบะหมี่ โดยมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับโปรตีนในรูปกลูเตน ซึ่งให้ความยืดหยุ่น เมื่อนำแป้งมาวัดกับน้ำจนกลายเป็นโดเรียบเนียนสามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ สตาร์ชมีผลต่อเส้นบะหมี่เมื่อสุก โดยสตาร์ชที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้เส้นบะหมี่มีความยืดตัวดี ลักษณะเส้นเหนียว เคี้ยวได้ไม่ยุ่ย ซึ่งลักษณะสตาร์ชที่เหมาะสมนี้ มีผลจากปริมาณเอนไซม์ในแป้งด้วย กล่าวคือ ถ้ามีเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส ในแป้งมาก จะเกิดการย่อยสลายสตาร์ช ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเสื่อมเสียไป มีความหนืดลดลง มีโครงสร้างและความยืดหยุ่นน้อย บะหมี่ที่ได้จึงไม่เหนียว และเปื่อยง่าย เส้นและไม้คงตัวเป็นเส้นที่ดี ดังนั้นแป้งที่ใช้ทำบะหมี่จึงไม่ควรมีเอนไซม์หรือมีน้อยที่สุด จึงจะจัดเป็นแป้งที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ ในทำนองเดียวกัน โปรตีนก็มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นซึ่งมีผลจากปริมาณโปรตีนและคุณภาพของกลูเตนที่ดี ทำให้เส้นบะหมี่คงตัว มีลักษณะในการกัดและเคี้ยวดี แต่ถ้าในแป้งมีเอนไซม์โปรติเอส ซึ่งจะย่อยสลายโปรตีน ก็จะทำให้คุณสมบัติของกลูเตนเสียไปเช่นกัน และสาเหตุที่แป้งมีเอนไซม์มากกว่าปกติก็เนื่องจากสภาพการเก็บรักษาข้าวสาลี ถ้าข้าวสาลีเกิดการงอกในขณะเก็บรักษา เพราะความชื้นในข้าวสาลีเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ด จะทำให้มีเอนไซม์เกิดขึ้นมากมีผลให้แป้งที่ไม่จากข้าวสาลีงอกนี้มีเอนไซม์ชนิดต่างๆมากกว่าปกติด้วยเช่นกัน นอกจากเอนไซม์จะมีผลต่อลักษณะความคงตัวของเส้นบะหมี่แล้ว เอนไซม์ยังมีผลต่อสีของเส้นบะหมี่อีกด้วย โดยเอนไซม์พอลิฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่มีในแป้งจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ ไทโรซีน (tyrosine) หรือสารฟีนอลอื่นในแป้งกลายเป็นสารสีน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยเฉพาะในบะหมี่ญี่ปุ่นซึ่งเป็นเส้นสีขาว แต่ถ้าเป็นบะหมี่จีน ผู้บริโภคจะยอมรับบะหมี่สีเหลืองซึ่งเกิดจากสารให้สีประเภทฟลาโวน (flavones) ของแป้งทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสที่เติมในส่วนผสมสีของฟลาโวนนี้อาจเปลี่ยนจากสีเหลืองใสเป็นสีน้ำตาลหรือมีสีเขียวปนได้ ถ้าในน้ำมีสารประเภทเกลือของธาตุเหล็กปนอยู่ด้วย ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นถ้าแป้งมีสารให้สีมากเกินไป ได้แก่ แป้งที่มีรำและคัพพะปน จะมีโอกาสทำให้บะหมี่มีสีเหลืองเข้มไปได้ง่ายกว่าแป้งสกัดปริมาณต่ำ

วิธีการที่ใช้ไม่แป้ง ก็มีผลทำให้คุณลักษณะของบะหมี่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กล่าวคือการไม่แป้งที่เหมาะสมจะได้แป้งที่มีสตาร์ชเสียหายน้อยมีขนาดแป้งสม่ำเสมอ ช่วยให้การดูดซึมน้ำของแป้งดีโดยมีความยืดหยุ่นพอเหมาะ ถ้าการไม่แป้งทำให้เกิดสตาร์ชเสียหายในแป้งมาก และแป้งมีขนาดเล็กเกินไป จะมีผลให้แป้งดูดซึมน้ำมาก เอนไซม์เข้าทำลายสตาร์ชง่าย โครงสร้างของโดไม่แข็งแรงยืดหยุ่นไม่ดี เส้นบะหมี่ไม่เหนียว และถ้าเป็นแป้งไม่ได้อาหารและคัพพะปนมาก มีผลทำให้แป้งมีเอนไซม์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์จะอยู่ในส่วนรำและคัพพะมากกว่าส่วนเนื้อในของเมล็ด เมื่อมีเอนไซม์มากก็จะมีผลเปลี่ยนสี และความยืดหยุ่นตัวของโดไม่ดี ดังกล่าวแล้วข้างต้นจึงสรุปได้ว่า แป้งที่เหมาะสมใน

การทำบะหมี่ ต้องเป็นแป้งที่ไม่จากข้าวสาลีที่มีลักษณะทางเคมีและทางกายภาพที่ไม่เกิดการงอก เมื่อนำไปไม่แป้งจะมีสตาร์ชเสียหายน้อยขนาดแป้งเหมาะสมสม่ำเสมอ อัตราการสกัดต่ำไม่มีรำและคัพพะปน เป็นแป้งที่มีองค์ประกอบทางเคมีได้สัดส่วน โดยเฉพาะปริมาณและคุณภาพของโปรตีนตรงตามลักษณะของบะหมี่ที่ต้องการ คือ บะหมี่จีนมีโปรตีนประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่นมีโปรตีนประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ชมีความชื้นสูงไม่มีเอนไซม์ในแป้ง มีสารให้สีประเภทฟลาโวนเหมาะสมต่อการเกิดสีเมื่อทำปฏิกิริยากับเบส โดยให้สีเหลืองในบะหมี่จีน ส่วนแป้งทำบะหมี่ญี่ปุ่นควรจะมีสารสีให้น้อยที่สุด เพราะไม่เติมสารละลายเบสเพื่อให้บะหมี่คงสีขาวนวล (อรอนงค์, 2540)

3.2 น้ำ

ส่วนผสมสำคัญในการทำบะหมี่คือ น้ำ ซึ่งต้องเติมลงไปเพื่อให้แป้งจับตัวกันเป็นก้อนโดที่มีความยืดหยุ่น และรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้ น้ำมีผลต่อลักษณะของบะหมี่โดยตรง กล่าวคือถ้าใส่ในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างของบะหมี่จะไม่แข็งแรง จะร่วนและโปร่ง ทำให้เส้นบะหมี่แข็งและขาดง่าย แต่ถ้าใส่น้ำมากเกินไป โดจะแฉะ เหนียวติดมือ รีดไม่ได้ ตัดเป็นเส้นก็จะติดกันง่าย ดังนั้นปริมาณที่เติมในสูตรควรจะเหมาะสมต่อชนิดของบะหมี่ ซึ่งโดยทั่วไปจะเติมประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นคุณภาพของน้ำที่ใช้ก็มีความสำคัญต่อลักษณะของโดเช่นกัน เนื่องจากน้ำมีองค์ประกอบของแร่ธาตุ สารอินทรีย์และก๊าซบางชนิดปนอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นน้ำจึงมีส่วนให้สภาพของโดเปลี่ยนแปลงไป ถ้าน้ำมีแร่ธาตุและสารอินปนมาก โดยเฉพาะแร่ธาตุ แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม จะมีผลให้การดูดซึมน้ำของแป้งไม่สม่ำเสมอ มีโครงสร้างของโดไม่เนียน จึงได้เส้นบะหมี่ที่ไม่ดี นอกจากนี้เกลือของเหล็กและทองแดงอาจทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดสีน้ำตาล และมีกลิ่นหืนเมื่อเก็บรักษาบะหมี่ไว้นาน ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค น้ำที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ที่ดี จึงควรเป็นน้ำอ่อนมีแร่ธาตุและสารอินเจือปนในปริมาณต่ำ แต่ถ้าน้ำอ่อนไปไม่มีอะไรเจือปนเลยก็ไม่ได้ เพราะจะทำให้โดแฉะ มีความยืดหยุ่นตัวน้อยกว่าน้ำอ่อนที่เหมาะสม (อรอนงค์, 2540)

3.3 เกลือ

ปริมาณเกลือที่ใส่ลงในสูตรการทำบะหมี่ ก็เพื่อปรับน้ำให้เหมาะสมกับชนิดของบะหมี่ที่ต้องการ ซึ่งอาจจะใส่หรือไม่ใส่ก็ได้เกลือมีผลโดยตรงต่อลักษณะของกลูเตนในโด โดยเพิ่มความแข็งแรงและแรงต้านการยืดตัวของโด ช่วยให้โดไม่แฉะ เมื่อเป็นเส้นบะหมี่จะไม่ติดกัน นอกจากนี้เกลือนายังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ประเภทย่อยโปรตีนช่วยให้โดคงความเหนียวและยืดหยุ่นอยู่ได้นาน และยังช่วยระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้แก่ แบคทีเรีย รา และยีสต์ จึงทำให้สามารถเก็บรักษาบะหมี่ได้นาน (อรอนงค์, 2540)

เกลือมีด้วยกันหลายชนิด เช่น ชนิดละเอียด ชนิดหยาบเกลือให้ความเค็ม และช่วยปรุงแต่งรสชาติให้มีความอร่อยและกลมกล่อมเพิ่มขึ้น ตามความหมายทางวิทยาศาสตร์เกลือ หมายถึงสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาของกรดกับเบส ซึ่งมีผลทำให้โลหะธาตุหรือธาตุคล้ายโลหะจากเบสเข้าแทนที่ไฮโดรเจนโมเลกุลในกรด ได้เกลือกกับน้ำจึงทำให้เกลือกที่เกิดจากกรดและเบสต่างกันมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่นเกลือกกรดมีคุณสมบัติเป็นกรดเกลือกอยู่ เกลือกด่างมีสมบัติของด่างอยู่ด้วย แต่สำหรับเกลือกธรรมดาจะหมายถึงโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นผลึกสีขาวมีรสเค็ม มีความบริสุทธิ์เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์, 2538) แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเกลือธรรมชาติ

องค์ประกอบ	จำนวน
โซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	99.95-0.01
แคลเซียมซัลเฟต (ร้อยละ)	0.2-0.06
แคลเซียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	0.00-0.02
แมกนีเซียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	0.00-0.01
ทองแดง (ส่วนในล้านส่วน)	< 1.5
เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	< 1.5
ความชื้น (ร้อยละ)	< 0.1
สารที่ไม่ละลาย (ส่วนในล้านส่วน)	< 20

ที่มา : อรอนงค์ (2538)

3.4 สารละลายต่าง

สารละลายต่างที่ใส่ในบะหมี่ ได้แก่ NaCO_3 , NaOH , KCO_3 , CaOH , Na_2HSO_4 ซึ่งต่างเหล่านี้จะใช้ในปริมาณ 0.5 – 2.0 % โดยอยู่ในรูปของสารละลาย เรียกว่าคานซุย (Kansui) ซึ่งทำให้โดแข็งแรงและให้ความยืดหยุ่น ทำให้บะหมี่มีความแน่นให้คุณภาพที่ดีในการรับประทานนอกจากนี้ยังมีผลต่อลักษณะการต้มหรือลวกบะหมี่ โดยช่วยให้มีเนื้อสัมผัสดี ทนต่อการต้มได้นานโดยไม่เปื่อยง่าย เส้นบะหมี่มีความเหนียว ยืดหยุ่นดีกว่าเส้นบะหมี่ที่ไม่มีส่วนผสมของต่างรวมถึงถ้ามีความเป็นด่างสูงจะเกิดปฏิกิริยากับเม็ดสีในแป้ง (Flavonoid) ทำให้เกิดสีเหลืองขึ้นในบะหมี่ และบะหมี่ที่มี Kansui ต่างชนิดกัน ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างในความสว่างและสีเหลืองของบะหมี่ แต่ส่งผลกับคุณสมบัติทางรีโวลจี้ (Rheological Properties) ของโด เนื่องจากการเพิ่มพฤติกรรม การชอบของแข็งในโด ทำให้บะหมี่เกิดการสูญเสียจากการทำให้สุก (Cooking Loss) สูง

3.5 ไซ้และสารอื่น

ไซ้ทำให้เกิดสีในบะหมี่และช่วยเสริมให้โดแข็งแรง ยืดหยุ่นได้ดี ปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่ โดยเฉพาะคุณลักษณะทั้งหมดของการกัดครั้งแรก (First Chew) อาทิความแข็ง (Hardness) การเกาะตัวรวมกัน (Cohesiveness) ความแน่น (Denseness) และความเป็นแป้งระหว่างฟัน

ส่วนผสมที่ไม่จำเป็นแต่อาจส่งลงในสูตรเพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่ให้เป็นที่พอใจของผู้บริโภคมากขึ้น เช่นการใส่ไซ้และโฆษณาว่าเป็นบะหมี่ไซ้ มีผลให้ผู้บริโภคเห็นคุณค่าทางอาหารของบะหมี่มากขึ้นมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของโปรตีนจากไซ้เป็นโปรตีนที่ครบถ้วนตามความต้องการของร่างกายและมีส่วนช่วยให้บะหมี่สีเหลืองสวยขึ้นจากสีของไซ้แดงจึงทำให้บะหมี่ไซ้มีราคาสูงกว่าบะหมี่ทั่วไป หรืออาจเติมแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแป้ง เพื่อเพิ่มคุณค่าอาหารโปรตีนในบะหมี่อีกชนิดหนึ่ง

สำหรับสารอื่นที่นิยมใส่ คือสารเจือปนในอาหาร ได้แก่ สีสผสมอาหารช่วยให้บะหมี่มีสีเหลืองสม่ำเสมอ เกลือ พอลิฟอสเฟตช่วยให้โดแข็งแรงและยืดหยุ่น โซเดียมซิลิเกตมีผลให้โดเรียบเนียน เลซิทินช่วยให้บะหมี่ประเภททอดสำเร็จรูปมีลักษณะดีไม่อมน้ำมัน ทำให้เก็บรักษาได้นาน ไม่เสื่อมเสียง่ายเมื่อนำมาต้มก็จะไม่เปื่อยยุ่ยได้ง่าย สารประเภทกัม เช่น สาหร่ายทะเล จะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อของบะหมี่ในขณะเคี้ยวให้ดีขึ้น

ในบางประเทศอาจมีการเติมสารช่วยในการเก็บรักษา (preservatives) โดยเฉพาะประเทศที่ยังนิยมบริโภคบะหมี่สดและบะหมี่เปียกหรือสุก สำหรับปริมาณที่เติมจะขึ้นอยู่กับกฎหมายอาหารของแต่ละประเทศที่จะยอมให้ใส่สารอะไรในปริมาณเท่าไร สารเหล่านี้ ได้แก่ กรดแอสติค กรด ซิตริก โดยการจุ่มบะหมี่ในสารละลายกรดนี้แล้วจึงทำให้แห้ง ส่วนสารอื่นที่ใช้เติม เช่น ไดโซเดียมฟอสเฟต, โปแทสเซียมซอร์เบต โซเดียมคลอไรด์และคาร์บอนेट เป็นต้น (อรอนงค์, 2540)

4. คุณภาพของบะหมี่ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

4.1 สูตรพื้นฐาน บะหมี่จีน ประกอบด้วยแป้งสาลี (โปรตีน 12-14 เปอร์เซ็นต์) 100 ส่วน น้ำ 30-35 ส่วน เกลือ 1-1.5 ส่วน และเบส 1.5 ส่วน ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่น จะทำจากแป้งสาลีชนิดอ่อน (โปรตีน 9-10 เปอร์เซ็นต์) 100 ส่วน น้ำ 28-33 ส่วน และเกลือ 2 ส่วน โดยไม่ใส่เบส

4.2 การทำบะหมี่ ผสมส่วนผสมต่างๆ ตามสูตรในเครื่องผสม โดยใช้ความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 5-10 นาที หรือจนกว่าโดจะเรียบเนียน พักโด 10-30 นาที นำมารีดด้วยเครื่องรีด เริ่มจากช่วงที่ลูกกลิ้งมีความห่างมาก (3.8 มิลลิเมตร) รีดแล้วพับเป็น 2 ทบ แล้วรีดอีก ทำซ้ำ 2 ครั้ง จึงเปลี่ยนเป็นช่วงที่ลูกกลิ้งมีความห่างน้อยลง (2.7 มิลลิเมตร) รีดที่ช่วงนี้ 2 ครั้ง แล้วเปลี่ยนเป็นช่วงห่างเพียง 1.75 มิลลิเมตร จนได้แผ่นโดหนาประมาณ 1.75 มิลลิเมตร จึงนำแผ่นโดนี้มาตัดด้วยเครื่องตัดขณะตัดควรโรยด้วยแป้งข้าวโพด หรือแป้งสาลีเพื่อไม่ให้เส้นติดกัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เป็นอย่างน้อยก่อนที่จะนำบะหมี่ไปตรวจสอบสีของบะหมี่สด และวัดอีกครั้งเมื่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสี

4.3 การทดสอบคุณภาพของบะหมี่ โดยนำบะหมี่หนัก 100 กรัม มาต้มในภาชนะบรรจุน้ำก๊อกหรือน้ำชนิดที่ไม่มีไอออนปนอยู่ จำนวน 1000 มิลลิลิตร โดยใส่บะหมี่ในตะกร้อลวดต้มจนเส้นสุกถึงใจกลาง จับเวลาที่ใช้เป็นเวลาในการต้มบะหมี่ ยกตะกร้อขึ้นจากภาชนะ ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำบะหมี่ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาอัตราการดูดน้ำที่เข้าไปในเส้นขณะต้ม ส่วนน้ำที่ใช้ต้มนำไปหาสารที่ละลายออกจากบะหมี่ได้เป็นการสูญเสียน้ำหนักของบะหมี่ในการต้ม วัดความเป็นเบสของบะหมี่ก่อนและหลังต้ม โดยบดบะหมี่หนัก 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันขณะวัดความเป็นกรดเบสด้วยเครื่องวัดแบบ อิเล็กโทรด และวัดสีของบะหมี่สุกเปรียบเทียบกับบะหมี่สด ด้วยเครื่องวัดสีทั่วไป

นำบะหมี่ที่สะเด็ดน้ำมาให้ผู้ชำนาญในการชิม เพื่อให้คะแนนคุณภาพในการกินบะหมี่โดยมีคะแนนสูงสุดเท่ากับ 30 คะแนน แบ่งเป็น 3 ลักษณะที่ทดสอบ คือ ความคงตัวของเส้นให้ 10 คะแนน ความยืดหยุ่นให้ 10 คะแนน และการที่เส้นไม่เหนียวติดกันให้ 10 คะแนน โดยคะแนนยิ่งสูงแสดงว่าบะหมี่ยิ่งมีคุณภาพในการกินดี (อรอนงค์, 2540) สรุปผลการตรวจสอบและลักษณะที่ตรวจสอบคุณภาพของบะหมี่ทั้งสดและสุกได้ดังตารางที่ 6

5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาบะหมี่สด

คุณภาพของอาหารส่วนใหญ่มักจะลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การที่คุณภาพของอาหารลดลงหรือเกิดการเสื่อมเสียนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และแสง สามารถกระตุ้นกลไกปฏิกิริยาต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพ รวมถึง สี กลิ่นรส รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณค่าโภชนาการ ส่งผลให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนไปอยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรืออาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ เพราะฉะนั้นคุณภาพผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ช่วงเวลาผลิตภัณฑ์จนถึงเวลาที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ถูกเรียกว่า อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นๆ (รุ่งนภา, 2540)

อายุการเก็บรักษาบะหมี่ให้มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของบะหมี่ ซึ่งบะหมี่สดและบะหมี่เป็ยกหรือสุก จะมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด ส่วนบะหมี่แห้งโดยกระบวนการอบ ตากแดด หรือทอด สามารถเก็บรักษาได้นานเป็นเดือน หรือเป็นปีในภาชนะที่เหมาะสม สำหรับบะหมี่ในขณะเก็บรักษาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ คือ การเปลี่ยนแปลงของสี บะหมี่มีจุลินทรีย์เติบโต และเกิดกลิ่นหืน (อรอนงค์, 2540) สำหรับบะหมี่สดมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ลักษณะคุณภาพของบะหมี่จากแป้งผสมกับน้ำเกลือหรือน้ำเบส

ลักษณะของบะหมี่	เกลือ 1%	โซเดียมคาร์บอเนต กับโพแทสเซียมคาร์บอเนต 0.6% + 0.4%	โซเดียม ไฮดรอกไซด์ 0.3%
บะหมี่สด			
ความเป็นกรด-เบส (pH)	6.2	10.0	10.0
สี (คะแนนเต็ม 6)	4.1	4.6	4.9
สีหลังจาก 24 ชม. (คะแนนเต็ม 6)	3.8	4.3	4.8
บะหมี่สด			
การอมน้ำของเส้น, %	92	118	115
ความเป็นกรด-เบส	6.7	9.8	9.5
เวลาที่เหมาะสมในการต้ม, (นาที)	2.1	4.0	4.1
สี (คะแนนเต็ม 6)	3.9	4.3	4.7
คุณภาพในการกิน (คะแนนเต็ม 30)	16	19	19

ที่มา : อรอนงค์ (2540)

5.1 การเปลี่ยนแปลงสีของบะหมี่สด

สีเป็นคุณลักษณะแรกของผู้บริโภคใช้ประเมินคุณภาพบะหมี่ การเปลี่ยนแปลงสีของบะหมี่ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษานับว่าส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคเป็นอย่างมากซึ่งมีสาเหตุมาจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ในแป้ง สารให้สีในแป้ง คือฟลาโวน (Flavones) ทำปฏิกิริยากับเบสและแร่ธาตุในน้ำ ส่งผลให้สีที่เกิดขึ้นในบะหมี่มีสีน้ำตาลเข้มหรือเหลืองออกเขียว ซึ่งแตกต่างจากสีเหลืองออกนวลในสีของบะหมี่ปกติ ทั้งนี้สามารถป้องกันได้โดยเลือกแป้งที่ไม่มีเอนไซม์ มีสารให้สีเหมาะสมกับเบสที่เติม และใช้น้ำอ่อนในการผลิตบะหมี่ โดยเฉพาะบะหมี่สดจะกลับมามีสีคล้ำมากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ถ้าแป้งมีส่วนของรำปน ทำให้มีปริมาณเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมาก และบะหมี่สดมีส่วนประกอบที่เป็นไข่เป็นผลทำให้สีจะคล้ำได้เร็วขึ้น เพราะส่งเสริมปริมาณโปรตีนและเอนไซม์ให้สูงขึ้น (Kruger et al., 1996)

5.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากจุลินทรีย์

บะหมี่สดมีปริมาณความชื้นสูง ถ้าเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้ระยะการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของบะหมี่ มีลักษณะของการเกิดเมือก เชื้อรา สี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนแปลงไปไม่เป็นที่ยอมรับ จึงมีการพัฒนากระบวนการผลิตบะหมี่ เช่น การทำแห้ง การใช้เทคโนโลยีการผลิต เช่น การแช่แข็ง การฆ่าเชื้อ และการบรรจุ รวมถึงการใช้สารช่วยในการเก็บรักษา เช่น โปแทสเซียมซอร์เบต โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต ทำให้อายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

6. กรรมวิธีการผลิตบะหมี่

บะหมี่ที่ผลิตตามแบบเอเชีย จะมีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน (สุภารัตน์, 2547; Kruger et al., 1996) คือ

6.1 การผสม (Mixing) เป็นการนำเอาสารละลายต่างมาผสมเข้ากับแป้ง ปกติจะมีเวลาการผสม 5-10 นาที และอุณหภูมิหลังการผสมต้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง วัตถุประสงค์ของการผสม คือ เป็นการกระจายน้ำและส่วนประกอบต่างๆ ให้เข้ากัน จนเกิดโด และพักโดอย่างน้อย 10-30 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของน้ำในโด

6.2 การรีดให้เป็นแผ่นบาง (Sheeting) เป็นการขึ้นรูปก้อนโด เพื่อเป็นการปรับความหนา ความชื้น และให้เกิดโครงร่างกลูเตน (Gluten Network) ซึ่งจะขึ้นกับ 2 ตัวแปรสำคัญ คือ อัตราเร็วในการไหลผ่านของแผ่นโดผ่านเครื่องรีด และร้อยละของการลดขนาดของแผ่นโด

6.3 การตัดเส้น (Cutting) การตัดแผ่นโดออกเป็นเส้น กลม หรือ แบน ทำให้ได้ชนิดของบะหมี่แตกต่างกันออกไป

โดยบะหมี่ที่ได้เริ่มแรกนั้น จะเป็นบะหมี่สด (Fresh Noodle) ต่อมาได้พัฒนาการผลิตเพิ่มขึ้น โดยถ้านำบะหมี่สดมาลวกน้ำร้อนก่อนจำหน่ายให้ผู้บริโภค เรียกว่า บะหมี่เปียก (Wet Noodle) หรือบะหมี่สุก ถ้านำบะหมี่สดมาตากแห้ง ก็จะได้บะหมี่แห้ง (Dry Noodle) แต่ถ้านำบะหมี่สดมาทอด เรียกว่า บะหมี่ทอด (Fried Noodle) เมื่อนำบะหมี่สดมาผ่านไอน้ำและทำให้แห้งจะได้บะหมี่แห้งสำเร็จรูป (Instant Dry Noodle) ถ้าวานไอน้ำแล้วนำมาทอดเรียกว่าบะหมี่ทอดสำเร็จรูป (Instant Fried Noodle) (อรอนงค์, 2540) ดังแสดงในภาพที่ 5

ขนมปัง

1. ชนิดของขนมปัง

1.1 ขนมปังผิวแข็ง (Hard Bread) เป็นขนมปังที่มีปริมาณไขมันน้อย 0-3% และมีปริมาณน้ำตาลน้อย 0-2% ขนมปัง ชนิดนี้มีลักษณะผิวเปลือกนอกแข็ง กรอบ และมีเนื้อ ค่อนข้างแห้ง รสจืด ดังนั้น แป้งที่ใช้ทำขนมปัง ชนิดนี้ต้อง ใช้แป้งที่มีปริมาณ กลูเต็นสูง เพื่อทนต่อการหมักได้นาน ทนต่อการพักตัว และการขึ้นของโดในระยะแรกของการอบ ตัวอย่างของขนมปังชนิดนี้ ได้แก่ ขนมปังขาไก่ ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังอิตาเลียน เป็นต้น (จรรยารัตน์, 2546)

1.2 ขนมปังจืด (Loaf Bread) เป็นขนมปังที่มีปริมาณไขมันปานกลาง 3-6% และมีปริมาณน้ำตาลปานกลาง 4-8% เนื้อของขนมปังมีลักษณะละเอียด นุ่ม รสจืด รูปร่างเป็น แห้งยาวตามรูปพิมพ์ที่ใส่อบ ตัวอย่างของขนมปัง ชนิดนี้ได้แก่ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังปอนด์ เป็นต้น (จรรยารัตน์, 2546)

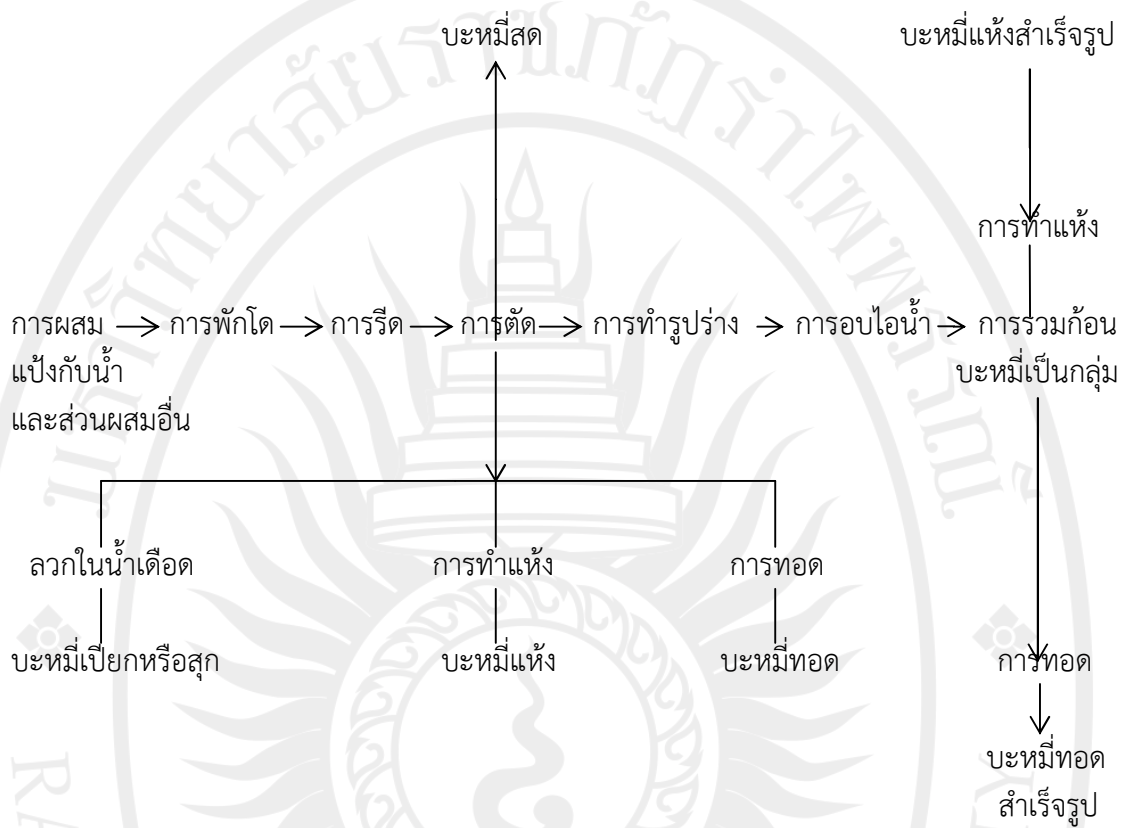
1.3 ขนมปังกึ่งหวาน (Soft Roll) เป็นขนมปังที่มีปริมาณไขมันสูง 6-12% และมีปริมาณน้ำตาลสูง 10-14% เนื้อของขนมปังมีลักษณะละเอียด นุ่ม รสชาติค่อนข้างหวาน นิยมทำเป็นรูปทรงกลม มีทั้งชนิดมีไส้หรือชนิดไม่มีไส้ ตัวอย่างของขนมปังชนิดนี้ ได้แก่ ขนมปังไส้กรอก ขนมปังโรลหมูหยอง ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ ขนมปังไส้ไก่ และขนมปังไส้ทUNA เป็นต้น (จรรยารัตน์, 2546)

1.4 ขนมปังหวาน (Sweet Dough) เป็นขนมปังที่มีปริมาณไขมันสูง 12-24% และมีปริมาณน้ำตาลสูง 16-22% ลักษณะเนื้อของขนมปังละเอียดนุ่มรสชาติหวานมันมากกว่าขนมปังกึ่งหวาน เพราะมีปริมาณน้ำตาลนมไขมันสูงกว่า ขนมปังหวานสามารถดัดแปลงให้เกิด ความหลากหลายตามไส้ที่แตกต่างกันและมักเรียกชื่อขนมปังตามไส้ของขนมปังชนิดนั้นๆ ตัวอย่างของขนมปังชนิดนี้ ได้แก่ ขนมปังไส้ผลไม้ ขนมปังไส้ลูกเกด และขนมปังไส้ถั่วแดง เป็นต้น (จรรยารัตน์, 2546)

2. วัตถุดิบที่สำคัญในการทำขนมปัง

2.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด ไม่มีแป้งชนิดอื่นใช้แทน แป้งสาลีได้ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเตนิน และ โกลอะดิน (Glutenin & Gliadin) ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า กลูเตน (gluten) มีลักษณะเป็นยาง เหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงสร้างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ เป็นโครงสร้างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ (อรอนงค์, 2540)



ภาพที่ 5 กรรมวิธีการผลิตบะหมี่ตามแบบชาวเอเชีย
ที่มา : Oh et al. (1983)

2.2 ยีสต์

ยีสต์ เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมีบทบาทสำคัญมากที่สุดในการทำขนมปัง ยีสต์ทำให้เกิดการหมัก และ เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ขนมปังขึ้นฟู ให้กลิ่นรสที่เกิดจากหมัก นอกจากนี้ ยังให้คุณค่าทางอาหาร เนื่องจากยีสต์มีโปรตีน และวิตามินสูง ชนิดของยีสต์ที่ใช้ทำขนมปังมีทั้งยีสต์สด และยีสต์แห้ง แต่ที่นิยมใช้มาก คือ ยีสต์แห้งชนิดผงสำเร็จรูปซึ่งสามารถผสมรวมกับแป้งได้ทันทีช่วยลดเวลาในการผสมแป้ง ยีสต์ชนิดนี้สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้องธรรมดา (จรรยารัตน์, 2546)

2.3 น้ำ

ปริมาณที่ใช้มีผลต่อการแตกตัวของเม็ดแป้ง ถ้าใช้น้ำมากเกินไปเม็ดแป้งจะแตกตัวมากให้เจลที่เหนียว ถ้าน้ำน้อยเกินไปแป้งจะพองตัวน้อยและไม่สุก ไม่เกิดเจลมากนัก เมื่อนำไปทอดจะไม่พองตัว ถ้าใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวจะใช้น้ำ 78% ของน้ำหนักแป้ง เมื่อเพิ่มส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าลงไป ปริมาณน้ำที่ใช้จะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าเพียงอย่างเดียวจะใช้น้ำถึง 100% ของน้ำหนักแป้ง และยังพบว่าเมื่อใส่ส่วนผสมที่มีความชื้นสูงลงไป ปริมาณน้ำที่ใช้จะลดลง (เกรียงศักดิ์, 2533)

2.4 น้ำตาลทราย

เป็นส่วนผสมที่ทำให้เกิดการหมัก เพราะน้ำตาลทรายเป็นอาหารของยีสต์ตลอดช่วงเวลากการหมักช่วยให้เนื้อของขนมปังนุ่ม มีสีผิวสวยเรียบน่ารับประทาน และทำให้ขนมปังมีความหวาน (จรรยารัตน์, 2546)

2.4.1 ชนิดของน้ำตาลที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมไทย

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายน้ำได้ดีและมีรสหวาน จัดอยู่ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีมากมาย ถ้าหากเป็นน้ำตาลทรายจะมีน้ำตาลทรายขาวที่ผลิตจากอ้อย เป็นซูโครสที่บริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 น้ำตาลมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ที่นิยมนำไปทำผลิตภัณฑ์ขนมไทยทั่วไป (จิตธนาและอรอนงค์, 2541) ได้แก่

น้ำตาลทรายขาว (Granulated sugar) จะใช้มากในการทำผลิตภัณฑ์ขนมไทย น้ำตาลทรายมีขนาดความละเอียดต่าง ๆ กัน มีตั้งแต่เป็นผงละเอียดมาก ธรรมดา และหยาบ ในต่างประเทศจะบอกขนาดความละเอียดไว้ที่กล่องบรรจุสำหรับเมืองไทยที่วางขายทั่ว ๆ ไป มี 3 ขนาด คือ ขนาดธรรมดา ผลึกใหญ่หยาบ และเป็นผงละเอียด น้ำตาลทรายที่ใช้ได้ผลดีควรมีความละเอียดและขาว เพราะจะผสมเข้ากับส่วนผสมอื่น ๆ ได้ดี ถ้าน้ำตาลที่ใช้มีขนาดผลึกใหญ่และหยาบ จะเข้ากับครีมกับเนยไม่ได้ดี เพราะผลึกที่ใหญ่จะละลายไม่หมดและมักจะอยู่ในรูปผลึกของน้ำตาล จะละลายได้ดีเมื่อถูกความร้อน น้ำตาลเป็นเครื่องชี้ถึงความบริสุทธิ์ถ้ามีการฟอกสีอย่างดีจะมีสีขาว หรือเหลืองอ่อนมากมีความบริสุทธิ์มาก แต่สารอาหารอื่น ๆ น้อยลง น้ำตาลทรายที่มีได้ผ่านการฟอกสี จะมีกลิ่นแฉะและกลิ่นหอมเฉพาะตัว

2.4.2 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาล

น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากน้ำตาลทรายขาวมีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.5 จึงสามารถคำนวณพลังงานของน้ำตาลทรายได้ โดยคิดว่าน้ำตาลทราย 1 กรัม ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี นอกเหนือจากพลังงานแล้ว น้ำตาลทรายขาวไม่ให้อาหารอื่นเลย น้ำตาลสีร่าจะให้แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กบ้าง สำหรับน้ำตาลมะพร้าวนอกจากจะให้ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก แล้วยังให้วิตามินเอและไนอะซินอีกด้วย (อบเชย และ ขนิษฐา, 2544) แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำตาล	น้ำตาลทรายขาว
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	385
โปรตีน (กรัม)	0
ไขมัน (กรัม)	0
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	99.5
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	-
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	-
เหล็ก (มิลลิกรัม)	-
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0
วิตามิน (ไอยู)	0

ที่มา : ออบเชย และชนิษฐา (2544)

หน้าที่ของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมไทย มีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มกลิ่นรส สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมไทยช่วยในการตีไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู ช่วยให้น้ำมันดีช่วยเก็บความชื้น และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีดีโดยเฉพาะขนมอบ (จิตธนา และอรอนงค์, 2541)

2.5 เกลือ

เกลือมีด้วยกันหลายชนิด เช่น ชนิดละเอียด ชนิดหยาบเกลือให้ความเค็ม และช่วยปรุงแต่งรสชาติ ให้ความอร่อยและกลมกล่อมเพิ่มขึ้น ตามความหมายทางวิทยาศาสตร์เกลือหมายถึงสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาของกรดกับเบส ซึ่งมีผลทำให้โลหะธาตุหรือธาตุคล้ายโลหะจากเบสเข้าแทนที่ไฮโดรเจนโมเลกุลในกรด ได้เกลือกับน้ำจึงทำให้เกลือที่เกิดจากกรดและเบสต่างกันมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่นเกลือกรดมีคุณสมบัติเป็นกรดเกลืออยู่ เกลือต่างมีสมบัติของต่างอยู่ด้วย แต่สำหรับเกลือธรรมดาจะหมายถึงโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นผลึกสีขาวมีรสเค็ม มีความบริสุทธิ์เกือบร้อยละ 100 (อรอนงค์, 2538)

2.6 ไข่ไก่

ไข่เป็นเครื่องปรุงหลักอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญในการทำขนมไทย ประเภทของขนมที่นำเข้ามาในสมัยพระนารายณ์มหาราช โดยทำวาทองกับม้าชาวโปรตุเกสเป็นผู้สอน ส่วนใหญ่เป็นขนมทำจากไข่ ซึ่งเป็นจุดพลิกผันการเปลี่ยนโฉมหน้าของขนมไทย ไข่ที่นำมาทำขนมไทยทำให้เกิดโครงสร้างของขนมทำให้ขนมขึ้นฟู มีกลิ่น สีสันและให้คุณค่าทางอาหารสูง ไข่ที่ใช้ทำขนมไทยมี 2 ชนิด คือ ไข่เป็ดและไข่ไก่ (อภิญา, 2542)

2.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของไข่

ประกอบด้วยเปลือกร้อยละ 10.3 ซึ่งมีแคลเซียม คาร์บอนเนตร้อยละ 93.7 แมกนีเซียม คาร์บอนเนต 1.4% ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ และ สารอินทรีย์ต่าง ๆ 4.1% ไข่แดง 30.3%

ซึ่งประกอบด้วยน้ำ 49.5% ไขมัน 33.3% โปรตีน 15.7% เถ้า (เกลือแร่)(มีธาตุเหล็กมาก) น้ำตาลรีดิทซ์ (เดกซ์โทรส) 0.15% และไข่ขาว 59.4% ประกอบด้วยน้ำ 88.0% โปรตีน (แอลบูมิน) 10.4% เถ้า (เกลือแร่) 0.7% และเดกซ์โทรส 0.38% ในแต่ละส่วนจะประกอบด้วยสารต่าง ๆ ดังนี้ (อรอนงค์, 2538)

ส่วนของไข่ซึ่งมีทั้งไข่แดงและไข่ขาวรวมกันนั้นมีคุณสมบัติที่ดีต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่สำคัญ คือ ให้คุณค่าทางอาหาร ทำให้ขนมขึ้นฟู ช่วยรวมส่วนผสมอื่นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และมีลักษณะเป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้เม็ดไขมันรวมตัวกับส่วนอื่นที่เป็นน้ำ เช่น มายองเนส มีเนื้อเนียนถ้าใช้เฉพาะไข่ขาว ซึ่งมีโปรตีน มูซิน (mucin) ที่ให้ลักษณะเป็นเจลของไข่ขาว ส่วนโปรตีนอัลบูมิน จะตกตะกอนจับกันเป็นก้อนเมื่อได้รับความร้อนหรือถูกตีให้ขึ้นฟู แต่ถ้าใช้เฉพาะไข่แดงซึ่งมีสารฟอสโฟลิพิด คือเลซิทิน มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ไข่แดงมีคุณสมบัติที่ช่วยให้น้ำมันหรือไขมันรวมอยู่กับน้ำเป็นเนื้อเดียวกันได้ดังนั้นไข่มีหน้าที่ดังนี้คือ เพิ่มคุณค่าทางอาหาร เพิ่มกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณภาพในการกิน ช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์เหลืองสวย เป็นตัวเชื่อมให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วยให้ขนมขึ้นฟู และเป็นโครงร่างที่มีรูพรุนของขนม มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้เนื้อขนมนุ่ม ช่วยให้เก็บรักษาขนมไว้ได้นาน (อภิญญา, 2546)

2.7 ไขมัน

ไขมัน ช่วยหล่อลื่นในขณะผสม ทำให้ขนมปังเนื้อนุ่ม เป็นใย เนื้อขนมปังมีรูพรุนสม่ำเสมอ และช่วยเพิ่มปริมาตรของขนมปัง ไขมันหลักที่นิยมใช้ในการทำขนมปัง คือ เนยขาว ซึ่งในบางครั้งสามารถใช้เนยสด หรือมาการีน แทนเนยขาวได้บางส่วนเพื่อเพิ่มกลิ่นรสให้หอมมากขึ้น (จรรยารัตน์, 2546)

2.8 สิ่งที่ช่วยให้ขึ้นฟู

2.8.1 การขึ้นฟูด้วยอากาศ

การตีไข่เพื่อตีเอาฟองอากาศเข้าไปทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น อาหารและขนมที่ขึ้นฟูด้วยอากาศเป็นสำคัญมีหลายอย่าง เช่น ปุยฝ้าย สาลี เค้กไข่ขาว เมอแรง (Meringues) ทองหยิบ ทองหยอด และ หน้านวล เซลล์อากาศที่ถูกล้อมรอบด้วยไขมันมีส่วนสำคัญต่อโครงร่างของส่วน ผสมแป้งเค้กชนิดมีไขมันมาก และจะเป็นตัวนำ หรือที่รวมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำใน ระหว่างที่ผสมและอบ นอกจากโดยการตีไข่แล้ว วิธีทำบางอย่างก็มีส่วนช่วยในการใส่อากาศเข้าไปในอาหารได้เช่น การคนไขมัน และน้ำตาลจนขึ้นครีม การร่อนแป้งและการคนหรือตีส่วน ผสมแป้งเหลว เป็นต้น (ศิริลักษณ์, 2535)

2.8.2 การขึ้นฟูด้วยไอน้ำ

การขึ้นฟูด้วยไอน้ำขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแป้งที่มีอยู่ในส่วนผสม ซึ่งจะขยายตัวขึ้นเมื่อได้รับความร้อน (ศิริลักษณ์, 2535)

2.8.3 การขึ้นฟูด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การขึ้นฟูด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมี ซึ่งสารเคมีที่สลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้แก่ ผงฟู แอมโมเนีย เป็นต้น สารเคมีที่ใช้ในการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูมีความเบาแน่นมีอยู่ 2 ชนิดได้แก่

2.8.3.1 เบคกิ้งโซดา (Baking soda) หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของเบคกิ้งโซดาต้องใช้อุณหภูมิสูง แก๊สส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในขั้นสุดท้ายของการอบ (ศิริลักษณ์, 2535)

2.8.3.2 เบคกิ้งเพาเวอร์หรือผงฟู (Baking powder) เป็นสารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู ผลิตขึ้นจากการผสมเบคกิ้งโซดาหรือโซเดียมไบคาร์บอเนตกับสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด ในการผสมจะเติมแป้งข้าวโพดลงไปส่วนหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารทั้งสองชนิดสัมผัสกันโดยตรง เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเร็วเกินไป และแป้งข้าวโพดที่ใส่ลงไปยังทำหน้าที่เป็นตัวดูดความชื้น ทำให้ผงฟูไม่จับตัวเป็นก้อน (ศิริลักษณ์, 2535)

2.9 นม

นมที่ใช้ในการทำขนมปังส่วนมากใช้นมผง ซึ่งอาจใช้ได้ทั้งนมผงที่มีไขมันเต็ม และไม่มีไขมันหรือหางนมผงก็ได้ เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่อบได้มีสี กลิ่น รสดี เพิ่มความสามารถในการดูดซึมน้ำของโด และช่วยเพิ่มความทนทานต่อการผสมโด ปริมาณที่ใช้จะอยู่ในช่วง 8-10% (จรรยารัตน์, 2546)

3. วิธีการผลิตขนมปัง

3.1 การผลิตขนมปังหรือการนวดขนมปัง เป็นการทำให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกิดกลูเตนและเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับแป้งและยีสต์ การผสมขนมปังมีดังนี้

3.1.1 วิธีผสมแบบขั้นตอนเดียว (straight dough method)

วิธีนี้นิยมใช้ทั่วไปเพราะสะดวกในการทำ โดยผสมส่วนผสมทั้งหมดในสูตรพร้อมกันครั้งเดียวแล้วนวดจนโดเรียบ นำไปหมัก 1 1/2 - 2 ชั่วโมง แล้วไล่ลมออกหมักต่ออีก 1/2 ชั่วโมง หรือจนโดขยายตัวเกือบเท่าเดิมจึงนำมาตัดแบ่ง

3.1.2 วิธีผสมแบบสองขั้นตอน (sponge and dough method)

เป็นการผสมสองครั้ง การผสมครั้งแรกเป็นการผสมแป้งส่วนหนึ่งประมาณ 80% จากแป้งทั้งหมดกับน้ำ ยีสต์และอาหารของยีสต์ถ้ามี ใช้เวลาในการผสมเพียง 4-5 นาที ผสมให้แป้งเข้ากับยีสต์ และน้ำจะเกิดกลูเตนมากพอที่จะอุ้มก๊าซที่เกิดจากการหมัก โดที่ได้เรียกสปันจ์ ใช้เวลาในการหมักสปันจ์ประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือมากกว่า สปันจ์ที่หมักได้ที่จะยุบตัวลงมาประมาณ 1 นิ้ว การยุบตัวของสปันจ์เกิดจากการยืดตัวเต็มที่ของโครงสร้างตามแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้นจนขาดออกจากโครงสร้างภายในของสปันจ์เป็นร่างแหละเอียดและแห้ง ถ้าละเอียดมากไปแสดงว่ายังหมักไม่ได้ที่หรือตรวจสอบโดยการดึงยืดด้วยมือ สปันจ์จะขาดง่ายเมื่อหมักสปันจ์ได้ที่จึงนำมาผสมกับส่วนที่เหลือจนเรียบเนียน เมื่อตรวจสอบโดยการดึงยืด โดจะแผ่เป็นแผ่นบางใส แสงผ่านได้โดยไม่ขาดออกจากกัน เรียกขั้นตอนนี้ว่าโด วิธีผสมแบบ 2 ขั้นตอนจึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สปันจ์-โด

3.1.3 วิธีการผสมแบบทุ่นเวลา (no-time dough method)

เป็นการผสมที่ลดเวลาลงเท่าตัวเพราะหลังจากผสมแล้วไม่ต้องหมักนาน 1 1/2 - 2 ชั่วโมง สามารถตัดแบ่งแล้วปั้นกลมพักไว้ 10 นาที จึงนำไปทำรูปร่างต่างๆ เพื่อใส่พิมพ์ หมักโดที่ใส่พิมพ์ แล้วประมาณ 1-2 ชั่วโมง หรือจนโดขึ้นเท่าตัวจึงนำไปอบ แต่การผสมแบบทุ่นเวลา

จำเป็นต้องใช้สารเพื่อย่นระยะเวลาการหมักได้แก่ สารเสริมคุณภาพ การผสมวิธีนี้ เหมาะแก่การทำขนมปังจำนวนมากในเวลาที่มีจำกัดในขณะที่ผสมแป้งลักษณะของแป้งขนมปังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้น ดังนี้

ขั้นตอนการผสม (Slack) ส่วนผสมของแป้งเริ่มดูดซึมน้ำของเหลว แป้งมีลักษณะเปียกบาง เกาะกันเป็นก้อน ส่วนผสมมีลักษณะหยาบและเหนียวติดมือ

ก้อนแป้งจะเรียบขึ้นและเริ่มแห้ง (Pick up) ส่วนผสมจะรวมกันเป็นก้อน แป้งที่มีความยืดหยุ่นเล็กน้อย ก้อนแป้งจะเรียบและแห้งแต่แป้งยังติดข้างอ่างผสมและตะขอที่ใช้ผสม

ก้อนแป้งแห้ง (Clean up) ก้อนแป้งมีลักษณะเรียบเนียนแห้งไม่ติดกับอ่างผสมและตะขอ เมื่อจับดูจะมีความนุ่มและยืดหยุ่นพอเหมาะ เมื่อดึงขึ้นมาจะไม่เหนียวติดมือและสามารถดึงเป็นแผ่นบางๆ ได้แต่เนื้อยังไม่เรียบนักถ้านำไปขึ้นนี้ไปขึ้น โดจะอุ้มก๊าซได้น้อยมีความยืดหยุ่นน้อยซึ่งทำให้โดยุบตัวระหว่างการหมัก ขนมปังที่ได้มีเนื้อหยาบขนาดเล็กและสีไม่สวย

ก้อนแป้งจะเรียบเนียนขึ้นและมีความยืดหยุ่นสูง แป้งในขั้นนี้สามารถดึงเป็นแผ่นได้โดยไม่ฉีกขาด เป็นจุดที่ต้องหยุดนวดเพื่อที่จะหมักต่อไป ถ้าไม่หยุดผสมโดจะเริ่มนิ่มจนเหลวแฉะและร้อน เมื่อดึงขึ้นจะติดมือเป็นสายขาดได้ง่าย เพราะการผสมนานเกินไปทำให้กลูเตนในโดฉีกขาด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรต่ำเนื้อรวน (คันสนีย์, 2549)

3.2 การหมักโด

การหมักโด เป็นขั้นตอนต่อจากขั้นตอนการผสมส่วนผสมทั้งหมด จนได้แป้งที่มีเนื้อเนียน ไม่ติดมือ การหมักโดเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัส ปริมาตร รสชาติ และกลิ่นหอมของยีสต์ที่ นำมารับประทานภายหลังการอบ ซึ่งการหมักโดที่ดีขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาการหมัก อุณหภูมิ ปริมาณยีสต์ และวิธีการหมัก ในปัจจุบันสามารถย่นเวลาของการหมักโดยใช้ตู้หมักโดตู้หมักโดที่ดีควรเป็นตู้ที่สะอาดปราศจากกลิ่น สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักโดประมาณ 30-35 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70-78% เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวของแป้งแห้งเกินไป ระยะเวลาในการหมักขึ้นอยู่กับวิธีการผสม สำหรับในประเทศที่มีอากาศร้อน ถ้าไม่มีตู้หมักโดสามารถหมักโดได้ที่อุณหภูมิห้อง เพราะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้หมักโด แต่ต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้ผ้าขาวบางชุบน้ำ อุ่น บิดหมาดๆ ปิดคลุมไว้หรือใช้ภาชนะที่มีฝาครอบปิด เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวโดสัมผัสกับอากาศจนแห้ง แต่ถ้าหมักในฤดูหนาว โดจะขึ้นช้าอาจต้องใส่ยีสต์เพิ่มเล็กน้อย หรือนำไปไว้ในตู้หมักโดซึ่งควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ก้อนโดแห้ง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักโด คือ ยีสต์จะใช้น้ำตาลบางส่วนเป็นอาหาร โดยเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล และเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกอฮอล์ในที่สุดซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะทำให้โดขยายตัว ส่วนเอนไซม์ที่มีอยู่ในยีสต์ และกรดที่เกิดจากการหมักจะช่วยให้กลูเตนนุ่ม และยืดตัว ภายหลังการหมัก โดจะเพิ่มปริมาณเป็นเท่าตัวของขนาดเดิม

3.3 การทำรูปร่างขนมปัง

หลังจากโดได้ไล่ลมแล้วหมักจนขึ้นได้อีกครั้ง จึงนำโดมาทำรูปร่างดังนี้

3.3.1 ตัดแบ่งโดให้มน้ำหนักเท่ากัน

3.3.2 ปั่นก้อนโดที่ตัดแบ่งเป็นก้อนกลม เพื่อให้ผิวแบ่งเรียบทั้งก้อนเป็นการป้องกันมิให้ก๊าซหนีออกจากผิวที่ถูกตัด โดจึงเก็บก๊าซได้ดีและการปั่นก้อนกลมยังทำให้กลูเตนเรียงตัวเป็นระเบียบยิ่งขึ้น

3.3.3 พักโดประมาณ 8-15 นาที เนื่องจากการตัดและคลึงทำให้ก๊าซออกจากโดและโดหดตัวการพักทำให้ก้อนโดปรับสภาพเข้าสู่ปกติอีกครั้ง

3.3.4 การปั้นรูปร่างเมื่อโดพักตัวดีแล้ว นำมาไล่อากาศโดยการรีดแล้วม้วนเป็นรูปทรงกระบอก หรือใส่ไส้เก็บริมนให้สนิท

3.3.5 นำก้อนโดที่ทำรูปร่างแล้วใส่พิมพ์ที่ทาด้วยเนยขาวบางๆ ส่วนที่เป็นรอยพับหรือรอยจับควรอยู่ก้นพิมพ์

3.3.6 การพักโดครั้งสุดท้าย เนื่องจากทำรูปร่างทำให้โดหดตัว และไม่มีอากาศอยู่ภายในอีกครั้ง จึงต้องพักโดเพื่อให้เกิดการหมักจนมีก๊าซเกิดขึ้น ทำให้โดขึ้นฟูในพิมพ์เป็นครั้งสุดท้ายก่อนอบ ขั้นตอนนี้มีความสำคัญในระบบอุตสาหกรรมต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และเวลาให้เหมาะสม โดยใช้อุณหภูมิ 90-130 องศาฟาเรนไฮต์ ความชื้นสัมพัทธ์ 60-90% และเวลาประมาณ 55-65 นาที จะควบคุมอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และเวลาระดับใดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและลักษณะขนมปังที่ต้องการ การตรวจสอบว่าโดได้ดีหรือยัง ใช้นิ้วมือแตะเบาๆ บนโดที่ขึ้นเกือบเต็มพิมพ์หรือเกือบเท่าตัว ถ้ามีรอยนิ้วมือติดอยู่จางๆ เมื่อยกนิ้วขึ้นแสดงว่าพักได้ที่แล้วสามารถนำเข้าอบได้ แต่ถ้ารอยนิ้วมือหายไปเมื่อยกนิ้วขึ้นแสดงว่าโดยังคงคลายตัวไม่เต็มที่ที่ต้องพักต่อไปหรือถ้าแตะแล้วรอยนิ้วมือจมลึกลงไปถูกดันขึ้นมาแสดงว่าพักนานเกินไป (ศันสนีย์, 2549)

4. การอบและการบรรจุภัณฑ์

โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการอบประมาณ 180-250 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของขนมปัง รวมทั้งขนาด และ ชนิดของเตาอบ เมื่อขนมปังที่อบสุกแล้วควรนำออกจากพิมพ์ หรือถาดทันที แล้วนำมาวางพักให้เย็นบนตะแกรง ก่อนนำไปบรรจุภัณฑ์ปิดให้มิดชิด หากต้องการให้ผิวขนมปังกรอบ ก่อนอบให้ทาหน้าขนมปังด้วยน้ำผสมเกลือเล็กน้อยถ้าต้องการให้ขนมปังมีผิวสีเหลืองทองก่อนอบให้ทาด้วยไข่ไก่ หรือถ้าต้องการให้ผิวขนมปังมีรสหวานก่อนอบให้ทาวัยน้ำเชื่อมที่มีรสหวานอ่อนๆ (จรรยารัตน์, 2546)

5. การเก็บรักษาและการบรรจุภัณฑ์

ขนมปัง เมื่อเก็บไว้นาน ๆ จะเกิดราขึ้นได้ง่ายเพราะขนมปังมีนม เนย ไข่ เป็นอาหารที่ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี การเก็บรักษาขนมปังจึงควรเก็บรักษาไว้ในที่เย็นหรือที่แห้ง และไม่ควรถูกเก็บใส่บรรจุภัณฑ์ในจำนวนมาก บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต้องสะอาด ป้องกันความชื้น ไม่ดูดซึมน้ำ มีสีสันสวยงาม ใสและสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ได้ง่ายเพื่อสร้างความดึงดูดใจต่อลูกค้า ส่วนใหญ่นิยมใช้ถุงพลาสติกใส หรือพลาสติกที่มีลวดลายเล็กน้อย เพราะมีราคาถูก ดูสะอาด และเมื่อปิดปากถุงให้มิดชิดสามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นของขนมปังได้ (จรรยารัตน์, 2546)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุลยา และคณะ (2011) ได้ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพหลังการต้ม ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่เติมไบเมอรูมผง ร้อยละ 6 โดยแปรปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เป็นร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 0.7 และ 0.9 (โดยน้ำหนักแป้ง) ผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่ต้มสุกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (จากร้อยละ 0-0.3) แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.5-0.9) ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าสี แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

นฤมล และคณะ (2011) ได้ศึกษาผลของการเติมผักโขมผงต่อคุณภาพของบะหมี่หลังการต้ม ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ โดยแปรปริมาณใบผักโขมผงเป็นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 (โดยน้ำหนักแป้ง) ผลการวิเคราะห์คุณภาพบะหมี่ที่เติมใบผักโขมผง พบว่าเมื่อปริมาณใบผักโขมผงเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เวลาที่เหมาะสมในการต้ม น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าลดลง ส่วนปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น ในด้านค่าสีของบะหมี่ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุก พบว่าเมื่อปริมาณใบผักโขมผงมากขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าบะหมี่ที่เติมใบผักโขมผงร้อยละ 5 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ผลการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของบะหมี่ที่เติมใบผักโขมผงกับบะหมี่ที่ไม่เติมใบผักโขมผง (ตัวอย่างควบคุม) พบว่าบะหมี่ที่เติมผักโขมผงปริมาณร้อยละ 5 มีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน และเส้นใย สูงกว่าตัวอย่างควบคุม

ดวงใจ และคณะ (2013) ได้พัฒนาบะหมี่สดผสมผงแก่นตะวัน โดยศึกษาตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการเตรียมผงแก่นตะวัน ในเรื่องระยะเวลาในการปอกเปลือก ระยะเวลาและความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกในการแช่ และระยะเวลาในการอบแห้ง ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตบะหมี่สดผสมผงแก่นตะวัน โดยแปรอัตราส่วนของแป้งสาลีต่อผงแก่นตะวันเป็น 100:0, 90:10, 85:15 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มข้นของสีเหลือง ด้านกลิ่นรสของผงแก่นตะวัน ด้านความเหนียวและความนุ่ม พบว่า บะหมี่สดผสมผงแก่นตะวันอัตราส่วน 10:90 ได้คะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้านสูงสุด ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงแก่นตะวันพบว่า มีร้อยละของความชื้น โปรตีน ไขมัน กากอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็น 8.42, 8.14, 0.30, 5.28 และ 73.63 ตามลำดับ และบะหมี่สดผสมผงแก่นตะวันอัตราส่วน 10:90 เป็น 21.57, 9.76, 0.71, 2.42, 1.36 และ 66.79 ตามลำดับ

สุพานี (2543) รายงานการใช้เศษเหลือจากกึ่งเพื่อเสริมแคลเซียมในข้าวเกรียบ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการใช้เศษเหลือจากกึ่งกลาดำในข้าวเกรียบและศึกษาคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบ ผลการศึกษาพบว่า จากการศึกษาหาคุณภาพทางโภชนาการเศษเหลือจากกึ่งกลาดำโดยเฉพาะเปลือกส่วนหัวมีโปรตีนสูงถึง 16.22% เปลือกส่วนลำตัวมีแคลเซียมสูงถึง 4230 มิลลิกรัม และฟอสฟอรัส 1430 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้งเปลือกส่วน

ลำตัว 100 กรัม ข้าวเกรียบที่มีการเติมเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำ 0 5 10 15 20 และ 25 กรัมต่อข้าวกล้องและแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม มีการพองตัวลดลงเมื่อเติมเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำเพิ่มขึ้น เมื่อวัดค่าสีของข้าวเกรียบได้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ส่วนค่าสีแดงและสีเขียว (a^*) และค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้าวเกรียบที่มีการเติมเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำ 10 กรัมต่อข้าวกล้องและแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเกรียบที่มีการเติมเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำ 10 กรัมต่อข้าวกล้องและแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียม 542 มิลลิกรัม และฟอสฟอรัส 210 มิลลิกรัมต่อข้าวเกรียบ 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสมากกว่าข้าวเกรียบที่ไม่เติมเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำ

กิตติยา (2544) รายงานเกี่ยวกับการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมโปรตีนและแคลเซียมจากสัตว์น้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของโปรตีนผงที่เหมาะสมในการผลิตคุกกี้เสริมโปรตีนและแคลเซียมและเพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมโปรตีนและแคลเซียม ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้เสริมโปรตีนผงจากปลาตุกอยู่ยู่ที่ระดับ 15% พบว่า มีปริมาณโปรตีน 11.50% แคลเซียม 0.37% และฟอสฟอรัส 0.33% เพิ่มขึ้นจากคุกกี้สูตรพื้นฐานซึ่งมีปริมาณโปรตีน 7.50% แคลเซียม 0.15% และฟอสฟอรัส 0.11% การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนผงจากสัตว์น้ำพบว่าโปรตีนผงที่ผลิตจากปลาแป้นแก้วจะมีปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ 70.12% แคลเซียม 2.06% และฟอสฟอรัส 0.26% แต่มีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมในการใช้เสริมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ เนื่องจากโปรตีนผงที่ผลิตจากปลาแป้นแก้วมีกลิ่นคาวแรง แต่คุณลักษณะทางกายภาพของโปรตีนที่ผลิตจากปลาตุกอยู่ยู่เทศมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการผลิตคุกกี้เสริมโปรตีนและแคลเซียมจากสัตว์น้ำโดยโปรตีนผงที่ผลิตจากปลาตุกอยู่ยู่เทศมีลักษณะเนื้อแห้งกรอบ มีกลิ่นคาวเล็กน้อย จากผลการทดสอบคุกกี้เสริมโปรตีนผงจากปลาไส้ตัน พบว่า คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผู้ทดสอบให้คะแนนยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณปลาไส้ตันผงที่ระดับ 10% มากกว่าที่ระดับ 5 และ 15% โดยมีคะแนนยอมรับเฉลี่ยที่ 6.9 5.9 และ 5.6 ตามลำดับ การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุกกี้เสริมโปรตีนผงจากปลาตุกอยู่ยู่เทศที่ระดับ 15% พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับที่ระดับชอบและมีผู้ให้คะแนนชอบมาก 18.5%

ธิดานุช (2550) รายงานผลการเพิ่มแป้งข้าวเจ้าหอมนิลและเศษเหลือจากกึ่งในขนมทองพับ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณแป้งข้าวเจ้าหอมนิลและเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำผงที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมทองพับจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและศึกษาคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมทองพับเพิ่มแป้งข้าวเจ้าหอมนิลและเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำผง ผลการศึกษา พบว่าเศษเหลือจากกึ่งกุลาดำผงมีค่าความสว่างปานกลาง (L^*) 52.38 ค่าสีแดง (a^*) 10.94 และค่าสีเหลือง (b^*) 13.97 ตามลำดับ ดังนั้นลักษณะสีของเศษเหลือจากกึ่งที่ผลิตได้มีสีส้มออกแดง โดยค่า a_w เท่ากับ 0.36 แสดงว่า เศษเหลือจากกึ่งกุลาดำมีน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำ ซึ่งมีสภาพไม่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์และรา และจุลินทรีย์ เนื่องจากยีสต์และราสามารถเจริญได้เมื่อค่า a_w มากกว่า 0.6 และจุลินทรีย์สามารถเจริญได้เมื่อค่า a_w ระหว่าง 0.88-0.96 ผลการวัดค่า a_w ผลิตภัณฑ์ขนมทองพับเสริมแป้งข้าวเจ้าหอมนิลและเศษเหลือจากกึ่ง

กุลาตำผง พบว่าผลลิตภัณฑ์มีค่า a_w เฉลี่ยอยู่ในช่วงค่า 0.36-0.55 แสดงให้เห็นว่าค่า a_w ของผลลิตภัณฑ์ มีแนวโน้มสูงขึ้น การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของขนมทองพับเพิ่มแป้งข้าวเจ้าหอมนิล และเศษเหลือจากกึ่งกุลาตำผง พบว่ามีความชื้น 5.28% โปรตีน 8.48% ไขมัน 11.45% เถ้า 22.53% เยื่อใย 30.72% คาร์โบไฮเดรต 20.54% และมีแคลเซียม 209.0 มิลลิกรัม และธาตุเหล็ก 4.36 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และทางด้านกายภาพค่าสี มีค่าความสว่างน้อย (L^*) 41.64 ค่าสีแดง (a^*) 5.52 และค่าสีเหลือง (b^*) 11.94 มีค่าเท่ากับส่วนค่า a_w 0.38 และค่าความกรอบ 24.79 นิวตัน ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์ทั้งหมด และรำน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง การทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส ผู้บริโภคให้ความชอบในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนทางด้านความกรอบและความชอบรวมผู้บริโภคให้ความชอบในระดับชอบปานกลาง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี