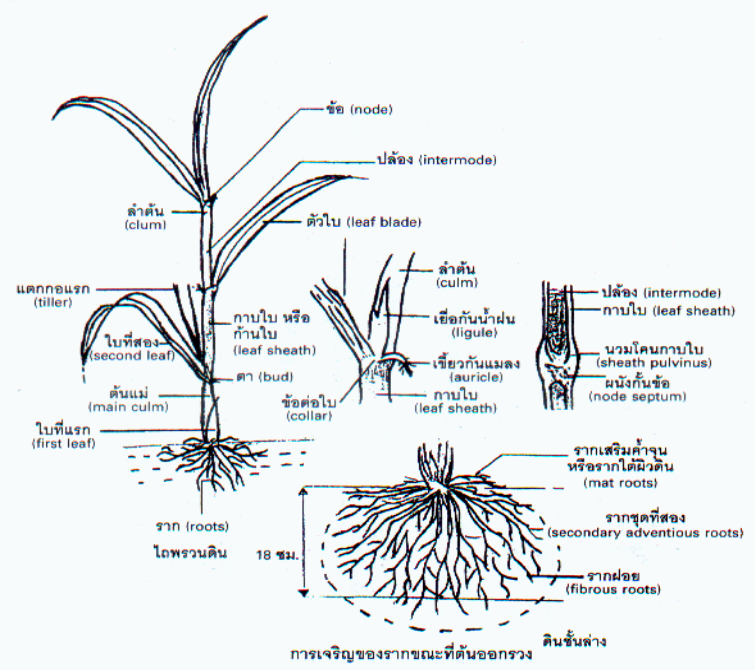
การตรวจเอกสาร

1. ข้าว

ข้าวเป็นเมล็ดพืชชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในตระกูลหญ้า (Family Graminea) มีลักษณะภายนอกบางอย่างคล้ายต้นหญ้า เช่น ใบ กาบใบ ลำต้น และราก ข้าวมีลำต้น (culm) เป็นไม้เนื้ออ่อน (herbaceous or non-woody plant) ลำต้นมีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งเป็นปล้องๆ (internode) มีข้อกั้น (node) ระหว่างปล้อง ใบ (leaf) ของต้นข้าวเป็นใบแท้ (foliage leaf) ชนิดใบเดียว (single leaf) เป็นธัญพืชชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว (monocoty ledon) ใบข้าวทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง เปลี่ยนธาตุอาหาร น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นแป้ง ใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเมล็ดของต้นข้าว รากของต้นข้าวเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) ประกอบด้วยรากย่อย (rootlets) และรากขนอ่อน (root hairs) โดยรากทำหน้าที่ยึดลำต้น ดูดน้ำ และแร่ธาตุที่ละลายในดิน ลำเลียงไปยังส่วนต่างๆของต้นข้าวผ่านลำต้นและกิ่ง ส่งไปยังใบเพื่อเปลี่ยนเป็นแป้งโดยการสังเคราะห์แสง ลักษณะของต้นข้าวดังแสดงในภาพที่ 1 ข้าวนั้นนับได้ว่าเป็นพืชที่มีความสามารถในการพัฒนาปรับตัวให้เข้ากับภูมิประเทศและภูมิอากาศได้เป็นอย่างดี สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน (tropical zone) โดยข้าวที่ปลูกกันทั่วไปเพื่อเป็นอาหารมีอยู่ 2 ชนิด คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa*) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) (ประพาส, 2521; ประภา, 2542; อรอนงค์, 2547)



<u>ภาพที่ 1</u> ลักษณะของต้นข้าว

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

1.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

ข้าวใช้เรียก เมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain หรือ rice seed) โดยเมล็ดข้าวเป็นผล (fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) ตัวเมล็ดข้าวมีลักษณะแตกต่างตามสายพันธุ์ทั้งด้านขนาด รูปร่าง สี การมีหาง (awn) หรือไม่มีหาง มีขน (pubescence) หรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง (hull หรือ husk) เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 อย่าง คือ (ประภา, 2542; อรอนงค์, 2547)

1.1.1 เปลือกนอก (hull หรือ husk) เรียกว่าแกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง (dorsal side) และเปลือกเล็ก (pelea) เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง (ventral side) มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ มีขนาดประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด

1.1.2 เปลือกเมล็ด (caryopsis) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มแป้งแต่อยู่ภายในแกลบ หากแกะเปลือกนอกของเมล็ดออก จะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า ข้าวกล้อง มีสีต่างๆกัน ตั้งแต่ขาว น้ำตาลอ่อน จนถึงสีแดงเปลือกเมล็ดประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ส่วนคือ

ก. เพอร์ริคาร์พ (pericarp) หรือเยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกห่อหุ้มผลภายใน มีรงควัตถุปนอยู่ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ มีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบสำคัญ

ข. เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผล ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปร่างยาว เรียงตามขวาง ภายในเซลล์มีไขมันและสารสี ทำให้ข้าวกล้องมีสี

ค. นิวเซลลัส (nucellus) เป็นชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่ผนังเซลล์กับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่นแยกออกจากกันได้ง่าย

1.1.3 แป้ง (endosperm) ส่วนที่เป็นแป้ง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ก. ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของส่วนที่เป็นแป้ง เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด สามารถแบ่งลักษณะของเซลล์แอลิวโรนเป็น 2 ลักษณะคือส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อเมล็ด อีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะ

ข. ส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง ส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง (starchy endosperm) เป็นส่วนแป้งที่บริโภคเป็นอาหาร ประกอบด้วยเซลล์เม็ดแป้งและโปรตีน มีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granule) อัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช (compound starch)

โปรตีนในเมล็ดข้าวจะอยู่รอบนอกใกล้ๆกับชั้นแอลิวโรน เซลล์เม็ดแป้งจะอยู่ถัดเข้าไปข้างใน หากในการสีข้าว มีการขัดเอาชั้นแอลิวโรนออกไปมาก ทำให้สีน้ำตาล, แดงของข้าวกล้องถูกขัดออกหมด แร่ธาตุและโปรตีนจะถูกขัดออกไปด้วย ตามปกติข้าวกล้องมีโปรตีนประมาณร้อยละ 8 หากขัดจนขาวเป็นข้าวสารจะเหลือโปรตีนเพียงร้อยละ 6 – 7 คุณค่าทางอาหารก็จะลดลง

1.1.4 คัพภะ (embryo) เรียกว่าจมูกข้าว อยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ส่วนท้องของเมล็ด คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน อุดมไปด้วยโปรตีนและไขมัน

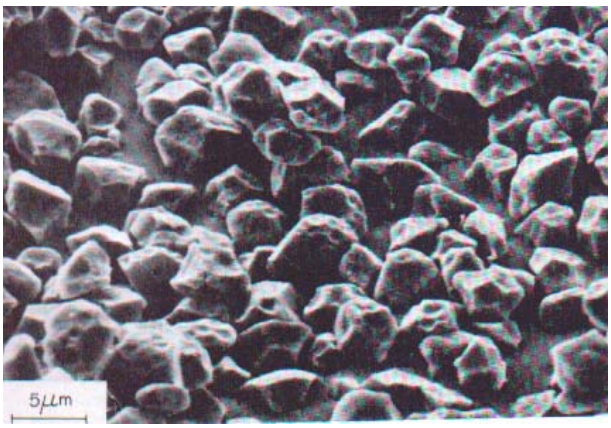
โดยส่วนประกอบของคัพภะทั้งหมดจะอยู่ในชั้นแอลิวคัพภะ (embryo) เรียกว่าจมูกข้าว อยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ส่วนท้องของเมล็ด คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน อุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันโดยส่วนประกอบของคัพภะทั้งหมดจะอยู่ในชั้นแอลิวโรน

1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบหลักสำคัญที่พบในเมล็ดข้าวคือพอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน และไขมัน คาร์โบไฮเดรตของข้าวมีสตาร์ชเป็นหลัก ซึ่งประกอบด้วยแอมิโลสและแอมิโลเพกตินในสัดส่วนต่างๆกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว ทำให้ข้าวแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์มีลักษณะการหุงต้มและข้าวสุกที่ต่างๆกันไป (อรอนงค์, 2532; อรอนงค์, 2547)

1.2.1 คาร์โบไฮเดรต แบ่งออกเป็น

ก. สตาร์ช อรอนงค์ (2532; 2547) และ Juliano (1985) กล่าวว่า สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ อยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) แหล่งกำเนิดของสตาร์ชอยู่ในเม็ดสตาร์ช มีลักษณะเป็นเม็ดหลายเหลี่ยม ขนาด 3- 9 ไมโครเมตร ระหว่างเม็ดสตาร์ชจะมีกลุ่มโปรตีนแทรกเห็นเป็นร่องบนเม็ดสตาร์ช ภาพของเม็ดสตาร์ชดังแสดงในภาพที่ 2



<u>ภาพที่ 2</u> เม็ดสตาร์ชของข้าวโปรตีนสูง ส่องจากกล้องจุลทรรศน์แบบสแกนนิ่ง
ที่มา: Juliano (1985)

สตาร์ชจากข้าวประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส 2 ลักษณะคือ แอมิโลเพกติน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งก้าน และแอมิโลสซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบเชิงเส้น สัดส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้คุณลักษณะด้านต่างๆของข้าวแตกต่างกันไปด้วย ส่งผลถึงการจัดแบ่งลักษณะของข้าวเมื่อนำไปขัดสีเป็นข้าวสารและนำไปหุงให้สุกด้วย โดยมีผลต่อความนุ่ม ร่วน และการพองตัวของเมล็ดข้าว ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพข้าวหุงสุกแบ่งตามปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลส (%น้ำหนักแห้ง)	ชนิดข้าว	ข้าวสุก
0 – 5	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
5.1 – 12.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำมาก	เหนียว
12.1 – 20.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ	นุ่ม – เหนียว/หุงแฉะง่าย
20.1 – 25.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง	ค่อนข้างนุ่ม – ร่วน
> 25	ข้าวเจ้าแอมิโลสสูง	ร่วน แข็ง/หุงขึ้นหม้อ

ที่มา: ดัดแปลงจาก อรอนงค์ (2547)

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ข้าวเหนียวจะมีแอมิโลเพกตินในส่วนประกอบของโมเลกุลสตาร์ชทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวมาก ติดมือ เมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นในสตาร์ชข้าวเจ้า จะทำให้ข้าวเจ้าที่หุงสุกนุ่มเหนียวลงตามลำดับ จนถึงปริมาณแอมิโลสมากกว่าร้อยละ 25 จะจัดเป็นข้าวเจ้าชนิดแข็ง ซึ่งมีลักษณะร่วน แข็ง หุงขึ้นหม้อ (เป็นการขึ้นฟูของข้าว)

ข. พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช พบมากในเปลือกหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด มากกว่าในเนื้อและคัพภะของเมล็ด อยู่ในรูปของเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ประกอบไปด้วย ฮีมิเซลลูโลส เซลลูโลส เพกติน ลิกนิน และโปรตีนที่ติดอยู่ สามารถแยกพอลิแซ็กคาไรด์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายในน้ำและกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ (อรอนงค์, 2532)

ค. น้ำตาลอิสระ น้ำตาลอิสระ ที่พบมากในส่วนคัพภะและเนื้อเมล็ดข้าว คือ ซูโครส นอกจากนั้นเป็น แรฟฟิโนส กลูโคส และฟรักโทส โดยน้ำตาลทั้งหมดในคัพภะมีประมาณร้อยละ8 – 25 ในรำมีประมาณร้อยละ 6.5 และในข้าวสารมีประมาณร้อยละ 0.52% (อรอนงค์, 2532)

1.2.2 โปรตีน

อรอนงค์ (2532 และ 2547) กล่าวว่า โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีในข้าวมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ซึ่งโดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยกว่าธัญพืชชนิดอื่น โปรตีนที่มีในข้าวนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆของเมล็ด มีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ด ด้านนอกจะมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด โปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อเมล็ดจะแทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช และโปรตีนที่เชื่อมโยงกับเม็ดสตาร์ชอาจมีผลต่อการเกิดเจลาทิไนซ์ของเม็ดสตาร์ช โดยทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชไม่เสียรูปร่างได้ง่าย และทำให้โมเลกุลของแอมิโลสไม่ซึมผ่านออกไป มีผลต่อลักษณะความอ่อน หรือแข็งของเจลเมื่อเย็นลง ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่มีลักษณะนุ่ม เหนียว หรือร่วน

1.2.3 ไขมัน

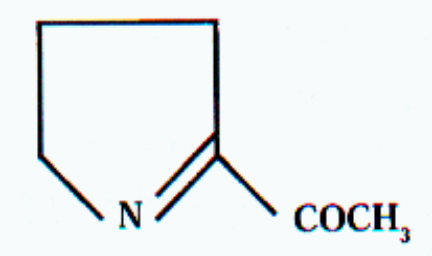
อรอนงค์ (2532 และ 2547) กล่าวว่า ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณ 3% ไขมันที่พบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในลักษณะเป็นหยดกลม (lipid droplets) อยู่ในส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวให้ขาว ทำให้ข้าวสารเจ้ามีไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3 – 0.5 สำหรับในส่วนเนื้อเมล็ดไขมันจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน และในเม็ดสตาร์ชก็จะมีไขมันชนิดที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น โดยไขมันมีความสัมพันธุ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ชิดกันกับโปรตีน อยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอก หรืออาจอยู่รวมกับโครงสร้างของแอมิโลเพกตินสายนอก เช่น สาย A หรือ B_1 ส่วนผิวของเม็ดสตาร์ชลักษณะที่สอง ไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช และลักษณะที่สามอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช แต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช

ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) รองลงมาคือ ฟอสฟอลิพิด (phospholipids) ไกลโคลิพิด (glycolipids) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบมอโนแอซิล (monoacyl) ซึ่ง

กลุ่มของมอโนแอซิลจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่า

1.3 ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิไทย (Thai hom mali rice) หมายถึง ข้าวกล้องและข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอม ข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าคุณภาพดียอดนิยมของผู้บริโภคทั้งคนไทยและคนเอเชีย เมื่อนำมาหุงให้สุกจะให้ลักษณะเมล็ดข้าวสุกเป็นตัว ขาว เรียว นุ่ม เนื้อข้าวบาน รสชาติอร่อยและมีกลิ่นหอม กลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิมาจากสาร 2 – แอซีทิล – 1 – ไพร์รอลีน (2 – acetyl – 1 – pyroline) เป็นสารหลักของกลิ่นหอมจากข้าว เป็นสารหอมชนิดเดียวกันกับที่พบในใบเตย สูตรทางเคมีของ 2 – แอซีทิล – 1 – ไพร์รอลีน ดังแสดงในภาพที่ 3 ข้าวหอมที่อยู่ในรูปข้าวกล้องจะมีสารนี้ประมาณ 0.1 – 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่ข้าวสารมีเพียง 0.04 – 0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ด้วยความที่มีกลิ่นหอมและรสชาติอร่อยของข้าวหอมมะลิทำให้ขายได้ราคาดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น ในช่วงเดือนมกราคม – กันยายน ปี 2003 ไทยสามารถส่งออกข้าวคุณภาพอย่างข้าวหอมมะลิมีอัตราเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าเมื่อเทียบกับปีก่อน (FAO, 2004) แต่ปริมาณการผลิตยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เพราะข้าวพันธุ์นี้มีลักษณะประจำพันธุ์หลายอย่างที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเพิ่มผลผลิต เช่น มีความไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive) ต้องการช่วงแสงสั้น (short daylength) ในการชักนำให้ออกดอก ทรงต้นค่อนข้างสูง มักหักล้มง่าย ไม่ต้านทานโรคและแมลงหลายชนิด มีผลผลิตต่อไร่ต่ำประมาณ 340 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีลักษณะเหมือนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คือ ข้าวเจ้าพันธุ์ กข 15 แต่ข้าวพันธุ์นี้จะมีความหอมน้อยกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ (อรอนงค์, 2547)



ภาพที่ 3 สูตรทางเคมีของ 2 – แอซีทิล – 1 – ไพร์รอลีน
ที่มา: อรอนงค์ (2547)

1.4 แป้งข้าว

ข้าวที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวจะเป็นข้าวหักหรือข้าวเกรดสองที่ไม่เหมาะต่อการบริโภคโดยตรง แป้งข้าวที่ผลิตในประเทศส่วนใหญ่เป็นชนิดที่ผ่านการโม่น้ำ โดยใช้ข้าวหักหรือปลายข้าวเป็นวัตถุดิบ (งามชื่น, 2540) ปลายข้าว (small brokens) หมายถึงเมล็ดข้าวหักที่มีความยาวต่ำกว่า 2.5 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ดลงไป และมีขนาดตามมาตรฐานของชนิดปลายข้าวที่กำหนดไว้ (อบเชย และ ขนิษฐา, 2544) แป้งข้าวที่ไทยผลิตมักโม่โดยใช้น้ำแต่ในแป้งยังมีโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมติดอยู่มาก ผลิตภัณฑ์จะเป็นประเภทฟลาว์ (rice flour) (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543) แป้งข้าวมีทั้งแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว ซึ่งแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวจัดเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมูลฐานของผลิตผลทางการเกษตร ลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ไม่จับกันเป็นก้อน ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 13 สัดส่วนของแอมิโลเพกตินแตกต่างไปตามชนิดของแป้ง โดยแป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงและมีแอมิโลสอยู่ประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น ส่วนแป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณแอมิโลส แตกต่างกันไปตามพันธุ์ของข้าว (สายสนม, 2537) ข้าวหอมมะลิหากนำมาทำเป็นแป้งข้าว จะมีปริมาณแอมิโลสต่ำ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543) สำหรับการส่งออกแป้งข้าวของไทยในปี 2536 มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการแข่งขันด้านราคาข้าวคุณภาพต่ำ ทำให้ประเทศผู้นำเข้าแป้งมีการนำข้าวคุณภาพต่ำที่นำเข้ามาผลิตแป้งเอง แม้ว่าแป้งของไทยจะมีคุณภาพดีกว่าและถูกซึ่งถือได้ว่าเป็นการกีดกันทางการค้า หากไทยแก้ปัญหาโดยการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวและแป้งข้าวจะเป็นการช่วยเศรษฐกิจไทยได้มาก แป้งข้าวนอกจากจะผลิตสำหรับบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังมีการส่งออกอีกด้วย ในระหว่างปี 2530 – 2536 มีปริมาณการส่งออก 57,805 – 92,311 ตัน คิดเป็นมูลค่า 464 – 883 ล้านบาท (งามชื่น, 2537)

1.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิ

อุศมา (2545) ศึกษาค่าการดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งสาลีที่อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งสาลี ตั้งแต่ 100:0 จนถึง 0:100 เมื่อลดอัตราส่วนของแป้งสาลีลงพบว่า การดูดซับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งผสมมีมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของแอมิโลสและไขมันในแป้งสาลีที่มีปริมาณสูงกว่าแป้งข้าวหอมมะลิ พรวีนัส (2544) และ พจนีย์ (2546) ศึกษาคุณภาพของแป้งข้าวหอมมะลิ

ไทย พบว่าแป้งข้าวหอมมะลิไทยมีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้าร้อยละ 7.57 - 10.53, 6.21 - 7.38, 0.15 - 0.92, 0.12 - 1.12 และ 0.34 - 0.54 ตามลำดับ โดยมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 20.21 - 23.13 ซึ่งจัดได้ว่ามีปริมาณแอมิโลสในระดับปานกลาง เมื่อศึกษาค่าร้อยละการกระจายของขนาดแกรนูลของแป้งข้าวหอมมะลิ พบว่ามีขนาดแกรนูลเฉลี่ยในช่วง 6 - 9 ไมโครเมตร โดยแกรนูลมีลักษณะหลายเหลี่ยม แป้งข้าวหอมมะลิมีค่า water activity 0.485 - 0.548 แป้งข้าวหอมมะลิมีความขาวมากกว่าแป้งสาลี โดยมีค่าความขาวเท่ากับ 75.6 $\pm$ 0.1 ค่าสีในระบบ L* a* b* เท่ากับ 96.4, -1.6 และ 4.9 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์พฤติกรรมทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิไทยมีค่า pasting temperature เท่ากับ 76.13 - 92.42 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดสูงสุดและค่าหนืดสุดท้ายเท่ากับ 292.81 - 300 และ 343.19 - 345 RVU ตามลำดับ คำรบ (2546) ศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชั่นและรีโทรกราเดชั่นของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยวิธี Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยนำตัวอย่างข้าวที่ผ่านการบดปรับให้มีความเข้มข้นร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 พบว่า อุณหภูมิของการเกิดเจลาทิไนซ์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลาทิไนซ์ (ΔH) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น โดยความเข้มข้นของข้าวที่ระดับร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 มีค่า (ΔH) เป็น 0.60, 1.28, 2.64 และ 4.23 จูลต่อกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนของรีโทรกราเดชั่นของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้ค่าที่สูงกว่าของข้าวเหนียว กข6 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของแป้งข้าวหอมมะลิ

พรวีนัส (2544) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ โดยในการทำขนมปังสามารถทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิถึงร้อยละ 30 ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิมีผลทำให้ขนมปังปริมาตรจำเพาะลดลง และมีค่าความแข็งของเนื้อในเพิ่มขึ้น สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ได้ประกอบด้วย แป้งสาลีทำขนมปังร้อยละ 32.83 แป้งข้าวหอมมะลิร้อยละ 14.07 หางนมผลร้อยละ 1.88 ยีสต์แห้งชนิดผงร้อยละ 0.59 น้ำตาลทรายร้อยละ 8.44 เกลือป่นร้อยละ 0.47 ไข่ไก่ร้อยละ 4.69 น้ำร้อยละ 26.73 เนยขาวร้อยละ 9.38 และ Distilled Monoglyceride ร้อยละ 0.94 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความแข็งของเนื้อในขนมปัง 6.92 นิวตัน ปริมาตรจำเพาะ 3.30 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ค่า water activity 0.92 เนื้อในของขนมปังมีสีขาว โดยมีค่าสีในระบบ L* a* b* เป็น 85.7, -1.8 และ 16.7 ตามลำดับ

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคอยู่ในระดับปานกลาง พจนีย์ (2546) ทำการพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตปาท่องโก๋จากแป้งข้าวหอมมะลิไทยผสมแป้งสาลี พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิไทยทดแทนแป้งสาลีได้ถึงร้อยละ 35 ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิไทยมีผลทำให้ปาท่องโก๋มีค่าความสว่าง (L*) และความกรอบเพิ่มขึ้น ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋จากแป้งผสมอยู่ในระดับปานกลาง และผู้ทดสอบร้อยละ 88.5 ยอมรับผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้การใช้แป้งข้าวหอมมะลิไทยในผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋สามารถลดต้นทุนได้ร้อยละ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งสาลีล้วน นันทพร (2546) ศึกษาการพัฒนาโดนัทแป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีหน้าพิซซ่าแช่แข็ง พบว่าสามารถทดแทนแป้งข้าวสาลีได้ร้อยละ 40 ทั้งนี้ใช้วิธีการอบแทนการทอด ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันได้ร้อยละ 28.5 ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์โดนัทหน้าพิซซ่ามีค่า water activity 0.924 ค่าความแข็ง 5.45 นิวตัน ค่าสีเปลือกของโดนัท L* a* b* เท่ากับ 70.48, 7.16 และ 36.08 ตามลำดับ ผู้บริโภคมีระดับคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง

2. **<u>ขนมสาลี่</u>**

ยิ่งศักดิ์ (2543) กล่าวว่า ขนมสาลี่เป็นขนมที่สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นกับการนำแป้งสาลีมาทำขนมไทย ส่วนผสมหลักคือ แป้งสาลี ไข่ และน้ำตาล จากส่วนผสมน่าจะจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับขนมฝรั่งกุฎีจีน ขนมไข่ และขนมผิง ซึ่งขนมเหล่านี้แพร่หลายเข้ามาในไทยสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ขนมสาลี่ได้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ขนมสาลี่อ่อนใช้วิธีการทำให้สุกด้วยวิธีการนึ่ง วัตถุดิบที่ใช้คือ ไข่ไก่ แป้งสาลี น้ำตาลทราย สีผสมอาหาร และสารแต่งกลิ่นรส ตีให้ขึ้นฟูแล้วนำไปนึ่ง อาจใช้สารขึ้นฟูช่วยได้ แต่งหน้าด้วยลูกเกด ฝอยทอง หรือมะเขือเขียวแดงก็ได้ และขนมสาลี่กรอบ (หรือขนมสาลี่ทิพย์) ใช้วิธีการทำให้สุกด้วยการนำไปอบ วัตถุดิบที่ใช้คือ ไข่เป็ด แป้งสาลี น้ำตาลทราย เนื้อมะพร้าวขูด ตีผสมเข้าเตาอบจนหอมเหลือง บางตำรับใช้น้ำกะทิแทนเนื้อมะพร้าว แต่วิธีในการผสมจะแตกต่างกัน โดยขนมสาลี่ทั้งสองชนิดต่างกันตรงวิธีการทำให้สุกและวัตถุดิบที่ใช้

แม้ว่าส่วนผสมที่ใช้ของขนมสาลี่ทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน แต่ส่วนผสมหลักๆคือ แป้งสาลี น้ำตาลทราย และไข่ บางตำรับจะใช้แป้งหมี่หรือแป้งสาลีอเนกประสงค์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ทำให้ขนมฟูนุ่ม มีเนื้อขนมเบา ขนมสาลี่ที่ขึ้นชื่อมากในปัจจุบัน คือขนมสาลี่เมืองสุพรรณ ซึ่งมีบางเจ้าสามารถส่งขายทั่วประเทศ

ขนมสาลี่อ่อนที่ดีควรมีเนื้อนุ่มเบา ฟู เนื้อละเอียดเนียน ขึ้นฟูสม่ำเสมอ กลิ่นหอม หน้าไม่แตก ไม่มีหยดน้ำ ส่วนขนมสาลี่กรอบ (ขนมสาลี่ทิพย์) ควรมีเนื้อเบานุ่ม มีกลิ่นหอมรสหวาน หอมเนื้อมะพร้าว ไม่คาวไข่ หน้าขนมมีสีน้ำตาลสวย กรอบนอกนุ่มใน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทดลองทำผลิตภัณฑ์ขนมสาลี่อ่อนโดยใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลี

ขนมสาลี่อ่อนเป็นขนมที่มีวิธีการทำที่ต้องตีไข่ให้เข้ากับน้ำตาล และขึ้นฟูได้โดยการอัดอากาศเข้าไปในไข่ คือตีไข่ให้ขึ้นฟูเต็มที่ การผสมลักษณะนี้จะคล้ายกับการทำสปองจ์เค้ก (sponge cake) หรือเค้กฟองน้ำ เค้กชิฟฟอน (chiffon cake) เค้กเจนัว (genoese cake) แองเจิ้ลฟู้ด เค้ก (angle food cake) หรือเค้กไข่ขาว ฯลฯ แต่หากจะเปรียบเทียบว่าขนมสาลี่นั้นคล้ายคลึงกับเค้กชนิดใดมากที่สุดก็คงจะเป็นสปองจ์เค้ก เนื่องจากเค้กชิฟฟอนและเค้กเจนัวจะมีการใส่ไขมันลงไปในส่วนผสมด้วย ส่วนเค้กไข่ขาวจะใช้ไข่ขาวแต่ไม่ใช้ไข่แดงในการตีผสมกับน้ำตาลทราย (เศรษฐพงศ์, 2544) ดังนั้นสปองจ์เค้กจึงมีส่วนคล้ายคลึงกับขนมสาลี่มากที่สุด

3. <u>วัตถุดิบที่ใช้ในการทำขนมสาลี่</u>

3.1 แป้งสาลี

เมื่อนำข้าวสาลีมาบดเป็นแป้ง จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมี การโม่แป้งนั้นเป็นการสกัดเนื้อในของเมล็ดข้าวสาลีออกมาและบดให้เป็นแป้งละเอียด แป้งที่ได้ประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต (ส่วนใหญ่คือสตาร์ช) ไขมัน โปรตีน เอนไซม์ แร่ธาตุ วิตามิน และสี องค์ประกอบต่างๆนี้จะมากหรือน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณการสกัดแป้งออกจากเมล็ดข้าวสาลี คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและพบในปริมาณมากที่สุดในแป้งสาลี จะพบคาร์โบไฮเดรตในรูปของสตาร์ชมากที่สุด น้ำตาลในแป้งพบในปริมาณน้อย แต่น้ำตาลในแป้งก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลี โดยมีส่วนช่วยในการหมักของยีสต์ และการเปลี่ยนสีของขนมเป็นสีน้ำตาล (อรอนงค์, 2540)

3.1.1 สตาร์ชในแป้งสาลี

อรอนงค์ (2540) กล่าวว่า แป้งสาลีมีปริมาณของสตาร์ชมากที่สุด เพราะสตาร์ชเป็นอาหารสะสมของเมล็ดข้าวสาลีซึ่งจะอยู่ในส่วนในของเมล็ดข้าวสาลี ภายในสตาร์ชจะ

ประกอบด้วย แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพกติน (amylopectin) โดยแอมิโลสคือพอลิแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นเส้นด้วยพันธะแอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก (α – 1,4 – glucosidic bond) ส่วนอะมิโลเพกทินคือพอลิแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นกิ่งก้าน เชื่อมต่อด้วยพันธะ 2 แบบ คือ พันธะแอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก (α – 1,4 – glucosidic bond) และพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิก (α – 1,6 – glucosidic bond) ซึ่งจะเชื่อมพันธะที่แตกแขนงจากกลูโคสเส้นตรง ทั้งแอมิโลสและแอมิโลเพกตินมีโมเลกุลใหญ่ สตาร์ชจึงมีโมเลกุลที่ใหญ่มาก ส่วนเม็ดสตาร์ช (starch granule) จะมีรูปร่างกลมหรือรีและมีขนาดทั้งใหญ่เล็กปะปนกันอยู่ โดยจะมีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กเป็นจำนวนมากที่สุด ส่วนเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่มีจำนวนเพียงร้อยละ 12.5 ของเม็ดสตาร์ชทั้งหมด โดยปกติเม็ดสตาร์ชจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในน้ำเย็น แต่เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของสตาร์ชและแป้งโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชจะเกิดการเปลี่ยนแป้ง เกิดการพองตัวและมีความหนืดข้นขึ้น เรียกว่าเกิดการเจลาทิไนเซชั่น (gelatinization) โดยอุณหภูมิของการเริ่มหนืดข้นของสตาร์ชข้าวสาลีอยู่ระหว่าง 52 – 63 องศาเซลเซียส และเมื่อทิ้งสตาร์ชที่หนืดข้นและใสนี้ให้เย็นลงจะเกิดลักษณะขุ่นกลับคืนมา (retrogradation) เกิดจากโมเลกุลของแอมิโลสค่อยๆรวมตัวจับเป็นผลึก น้ำจะแยกตัวออกจากส่วนผลึก กระบวนการนี้เกิดอย่างช้าๆจะเกิดการตกตะกอน แต่หากเกิดขึ้นอย่างเร็วจะได้เป็นเจลขุ่นๆ ลักษณะการเกิดผลึกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนมปัง เมื่อนำออกจากเตาอบและทิ้งไว้ให้เย็น ขนมปังใหม่สดจะเปลี่ยนเป็นขนมปังเก่า มีลักษณะขุ่นและแห้งกว่าเดิม เกิดขึ้นเนื่องจากแอมิโลสมีการเปลี่ยนแปลงเป็นผลึกหรือตะกอนอย่างถาวร ส่วนแอมิโลเพกตินสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ หากมีการให้ความร้อนแก่ขนมปังเก่าอีกครั้ง จะทำให้โครงสร้างของแอมิโลเพกตินที่ตกตะกอนอยู่กลับคืนตัวเหมือนใหม่อีกครั้ง

3.1.2 โปรตีนในแป้งสาลี

แป้งสาลีต่างชนิดกันก็มีปริมาณโปรตีนไม่เท่ากัน โดยแป้งสาลีชนิดที่ใช้ทำขนมปังจะมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 12 – 13) สูงกว่าแป้งอเนกประสงค์ (ร้อยละ10 – 11) และแป้งเค้ก (ร้อยละ 8 – 9) โดยโปรตีนจะกระจายตัวในแป้งสาลีในรูปโปรตีนสะสม (storage protein) และเส้นใยโปรตีน (protein fibril) (อรอนงค์, 2540) ปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ภายในแป้งอาจจะเป็นส่วนสำคัญที่สุดของแป้งสาลีเลยก็ได้ จากการแบ่งกลุ่มของโปรตีนในแป้งสาลีโดยวิธีของออสบอร์น (Osborne) ได้แยกกลุ่มของโปรตีนภายในแป้งสาลีได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

ก. แอลบูมิน (albumins) เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่น

ข. โกลบูลิน (globulins) เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือเจือจาง

ค. โปรลามีน (prolamines) เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายในสารละลายเอทานอล 70% โดยไกลอะดิน (gliadin) ก็อยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

ง. กลูเตลิน (glutelins) เป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายในกรดเจือจาง

กลุ่มของโปรตีนที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมปังและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปฏิกิริยาการหมัก มีด้วยกัน 2 กลุ่ม คือกลุ่มของโปรลามีนและกลูเตลิน โดยทั้งสองกลุ่มนี้จะมีส่วนในการฟอร์มตัวของโปรตีนกลูเตน (gluten) โดยไกลอะดินและกลูเตนินเป็นโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบทำให้เกิดกลูเตนในแป้งสาลี ซึ่งกลูเตนนี้มีคุณสมบัติพิเศษและเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแป้งสาลี (Cauvain and Young, 2001) แป้งสาลีมีคุณสมบัติที่ต่างจากแป้งชนิดอื่นคือในแป้งสาลีจะประกอบด้วยโปรตีน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำหรือของเหลวชนิดอื่นแล้วจะได้กลูเตน ซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะเหนียวเป็นยาง และยืดหยุ่นได้ กลูเตนประกอบด้วยกลูเตนินและไกลอะดินในอัตราส่วนที่เท่าๆกัน กลูเตนจะทำให้โดทำหน้าที่กักเก็บแก๊สและเพิ่มปริมาตรของขนมปังในขณะอบ ภายใต้อิทธิพลความร้อนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการหมักของยีสต์ โดยกลูเตนินจะทำให้โดหรือก้อนแป้งผสมมีกำลังที่จะอุ้มแก๊สที่ขึ้นฟูไว้ได้ ซึ่งจะเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ส่วนไกลอะดินทำให้กลูเตนมีคุณสมบัติในการยืดตัวและยืดหยุ่นได้กลูเตนินให้ความแข็งตัวและไกลอะดินเป็นสารที่อ่อนและเหนียวจะเป็นตัวเชื่อม (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544) นอกจากนี้โปรตีนบางชนิดยังมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของขนมอบ เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ของกรดอะมิโนอิสระบางกลุ่มเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิ่ง (อรอนงค์, 2540)

3.1.3 เอนไซม์ในแป้งสาลี

นอกจากคาร์โบไฮเดรต (สตาร์ช) โปรตีน (กลูเตน) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของแป้งสาลีแล้ว ในแป้งสาลียังมีเอนไซม์ที่สำคัญอีก คือ แอลฟา – แอมิเลส (α – amylase) และบีตา – แอมิเลส (β – amylase) เอนไซม์เหล่านี้มีความจำเป็นสำหรับการทำขนมปัง

ก. แอลฟา – แอมิเลส (α – amylase) ทำหน้าที่ย่อยสตาร์ชและเป็นการย่อยภายในแบบสุ่ม จะย่อยเม็ดสตาร์ชที่เสียหายอย่างช้าๆ แต่จะไม่ย่อยเม็ดสตาร์ชปกติ จะเกิดการย่อยได้ดีเมื่อสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ การย่อยเกิดที่พันธะแอลฟา – 1,4 – กลูโคซิดิก ทำให้ความข้นหนืดของสตาร์ชลดลง (อรอนงค์, 2540) แอลฟา – แอมิเลสจะทำการย่อยสลายสตาร์ชให้เป็นเดกซ์ทริน (dextrix) ในระหว่างกระบวนการหมัก การทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้มีไม่มาก ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรด – เบส 4.5 ถ้ามีค่าสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำงานช้าลง เอนไซม์นี้ทนความร้อนได้สูงถึง 70 – 75 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่สตาร์ชของข้าวสาลีเป็นเจลที่อุณหภูมิเพียง 56 – 60 องศาเซลเซียส และที่จุดนี้เองแอลฟา – แอมิเลสจะเริ่มทำงาน(จิตธนา และ อรอนงค์, 2544) ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์นี้คือ 60 – 66 องศาเซลเซียส (อรอนงค์, 2540)

ข. บีตา – แอมิเลส (β – amylase) ทำหน้าที่ย่อยสตาร์ชแบบย่อยจากภายนอกโมเลกุล ทำหน้าที่ย่อยเดกซ์ทรินและสารละลายสตาร์ชส่วนหนึ่งให้เป็นน้ำตาลมอลโตส (maltose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่จำเป็นสำหรับยีสต์ในการนำไปใช้เป็นอาหารระหว่างการหมัก (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้ คือ 48 – 51 องศาเซลเซียส (อรอนงค์, 2540)

ปริมาณของเอนไซม์แอลฟา – แอมิเลสจะมีมากกว่าเอนไซม์บีตา – แอมิเลสมาก ถ้ามีเอนไซม์แอลฟา – แอมิเลส ร่วมกับ บีตา – แอมิเลสจะมีผลให้บีตา – แอมิเลสทำการย่อยได้เร็วขึ้น เนื่องจากแอลฟา – แอมิเลสจะทำการย่อยแบบสุ่มทำให้เกิดปลายของน้ำตาลไมรีดิวซ์ที่มากขึ้น แล้วบีตา – แอมิเลสก็จะทำการย่อยได้เพิ่มขึ้น การทำงานของเอนไซม์ทั้งสองจะมากหรือน้อยในขณะนำแป้งไปทำผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่นความเป็นกรด – เบส เป็นต้น สำหรับลักษณะที่เหมาะสมของสตาร์ชปรากฏว่าเม็ดสตาร์ชที่เสียหายจะช่วยให้การย่อยของเอนไซม์ง่ายขึ้น ถ้าสตาร์ชอยู่ในส่วนผสมของน้ำและกลายเป็นเจล เนื่องจากความร้อนจะมีผลให้เกิดการย่อยได้เร็วขึ้น (อรอนงค์, 2540)

3.1.4 ชนิดของแป้งสาลี

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแป้งสาลีคือคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน อุตสาหกรรมอาหารมีการนำแป้งสาลีไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก การใช้แป้งสาลีไปประกอบอาหารต้อง

คำนึงว่าเนื้อสัมผัสของอาหารที่ต้องการเป็นอย่างไร เพราะแป้งสาลีมีหลายชนิด และแต่ละชนิดจะให้คุณลักษณะของอาหารที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแป้งสาลีชนิดนั้นๆ

ก. แป้งขนมปัง (hard หรือ bread flour) สมบัติ (2528) กล่าวว่าแป้งขนมปังเป็นแป้งที่ได้จากข้าวสาลีชนิดหนัก มีโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 15.5 – 14 แป้งขนมปังในไทยเป็นแป้งที่มีระดับโปรตีนสูงมากประมาณร้อยละ 13 – 14 โปรตีนที่สูงทำให้ขนมปังมีเนื้อแป้งที่นุ่ม เบา และมีปริมาตรมาก อีกทั้งยังมีเนื้อขนมที่ละเอียดขาวเพราะมีสารโปรตีนชนิดที่สามารถจะยึดกันไว้ทำให้ยืดหยุ่นได้ดี ลักษณะของแป้งชนิดนี้คือเมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกคายมือคล้ายมีกรวดหรือหยาบเหมือนทราย มีสีครีม ไม่ขาว เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้งแป้งจะไม่เกาะตัวกัน เม็ดแป้งจะหยาบกว่าแป้งเค้ก แป้งชนิดนี้ใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู เพราะยีสต์เท่านั้นที่จะทำให้ก้อนโดพองตัวได้ (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544; ศิริลักษณ์, 2519) แป้งหรือกลูเตนของแป้งชนิดนี้มีความแข็งที่สามารถทนต่อการหมักนานๆได้และทนต่อการนวด

ข. แป้งเค้ก (soft หรือ cake flour) ทำจากข้าวสาลีชนิดเบามีโปรตีนต่ำกว่าแป้งขนมปังระดับโปรตีนประมาณร้อยละ 7 – 9 เกิดสารที่จะยึดกันน้อยกว่า โม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อนพวก soft wheat และ soft red wheat เม็ดแป้งละเอียดมาก ขนาดสม่ำเสมอกัน เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะเกาะรวมกันเป็นก้อนและคงรอยนิ้วมือไว้ แป้งชนิดนี้ใช้สารเคมีช่วยทำให้ขึ้นฟูเท่านั้นไม่ใช้ยีสต์ ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นฟูได้แก่ผงฟู เบคิงโซดา เป็นต้น (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544; ศิริลักษณ์, 2519) ถ้าผ่านการฟอกสีด้วยคลอรีนทำให้ใช้น้ำตาลและเนยได้มากกว่าแป้งเค้กชนิดที่ฟอกด้วยผงฟอกสี (bleaching powder) ธรรมดา แป้งประเภทนี้นิยมใช้ทำคุกกี้ ซาลาเปาหน้าแตก ขนมปุยฝ้าย และเค้กบางชนิด เช่นแยมโรล (สมบัติ, 2528)

ค. แป้งอเนกประสงค์ (medium hard หรือ all purpose flour) บางแห่งเรียก family flour มีระดับโปรตีนร้อยละ 9 – 11 (สมบัติ, 2528) ใช้ทำขนมแป้งอบได้ทุกอย่าง อาจทำจากการผสมแป้งหนักและแป้งเบาเข้าด้วยกัน (ศิริลักษณ์, 2519) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น ขนมปังจืดและหวาน ขนมเค้กบางชนิด ปาท่องโก้ บะหมี่ เพสตรี ใช้เวลาในการนวดแป้งน้อยกว่าขนมปัง ลักษณะของแป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปังและแป้งเค้กรวมกัน สารที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์และผงฟู (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544)

ง. Self – rising flour แป้งที่ผสมผงฟูไว้แล้ว (ศิริลักษณ์, 2519)

จ. Pastry flour มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างแป้งสาลีอเนกประสงค์กับแป้งเค้ก มักทำจากข้าวสาลีชนิดเบา ใช้ทำแพสทรี คุ้กกี้ (ศิริลักษณ์, 2519)

ฉ. Enriched flour enriched flour แป้งที่ได้เติมสารอาหารบางอย่างลงไป (ศิริลักษณ์, 2519)

3.2 ไข่

ไข่ถือว่าเป็นวัตถุดิบหลักอย่างหนึ่งในการทำขนมสาลี่ เป็นวัตถุดิบที่ขาดไม่ได้เพราะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของขนมสาลี่ด้วย ในการทำขนมสาลี่แบบดั้งเดิมที่ไม่ใช่ผงฟู หากต้องการให้ขนมสาลี่มีเนื้อเบา นุ่ม ฟูสวย จำเป็นที่จะต้องทำการตีไข่ให้ขึ้นฟูพอดี

3.2.1 โครงสร้างของไข่

โครงสร้างของไข่ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือเปลือกไข่ ไข่ขาว และไข่แดง

ก. เปลือกไข่ มีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 11ของไข่ทั้งใบ ซึ่งเปลือกไข่สร้างขึ้นมาจากฟอสเฟต (phosphate) และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) หากเปลือกไข่มีรูจะสามารถทำให้กลิ่นและแบคทีเรียซึมเข้าไปในไข่ขาวและไข่แดงได้ เปลือกไข่อาจมีสีขาวหรือน้ำตาลก็ได้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของไข่และชนิดของอาหารที่ให้ไก่กิน สีของเปลือกไข่ไม่มีผลต่อคุณภาพของไข่ ข้างในเปลือกไข่มีเยื่อหุ้มไข่สองชั้น โดยเยื่อหุ้มไข่สร้างขึ้นจากโปรตีนเคราติน (keratin) และมูซีน (mucin) เยื่อหุ้มไข่ทั้งสองชั้น ชั้นหนึ่งติดกับเปลือกไข่ อีกชั้นหนึ่งจะหุ้มของเหลวของไข่ หากไข่เก่าของเหลวในไข่จะลดลง เยื่อหุ้มไข่จะหดตัว เยื่อหุ้มไข่ทั้งสองชั้นจะแยกตัวออกจากกัน และเกิดช่องว่างขึ้นที่ด้านหนึ่งของไข่ (Davies, 1997)

ข. ไข่ขาว มีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 58ของไข่ทั้งฟอง มีลักษณะเป็นเจลซึ่งเป็นลักษณะของโปรตีนมิวซีนในไข่ขาว มี 3 ชั้น โดยไข่ขาวสองชั้นจะมีลักษณะเป็นเจลใสเป็นน้ำ ส่วนอีกชั้นหนึ่งจะมีลักษณะเ ป็นเจลที่ข้นและหนืดกว่าอีกสองชั้นที่กล่าวมา ชั้นไข่ขาวใสทั้งสองชั้นมีอยู่ชั้นหนึ่งจะพบอยู่รอบๆไข่แดง ชั้นใสอีกชั้นหนึ่งจะติดอยู่กับเยื่อหุ้มไข่ชั้นใน ส่วนชั้นไข่ขาวข้นจะอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นไข่ขาวใสทั้งสองชั้น สัดส่วนของไข่ขาวข้นและไข่ขาวใสขึ้นอยู่กับสภาวะที่เก็บรักษาไข่ด้วย ส่วนประกอบสำคัญของไข่ขาวประกอบไปด้วยน้ำ ซึ่งในไข่ขาวมีน้ำอยู่ร้อยละ 86 และโปรตีนประกอบด้วยโปรตีนโอวัลบูมิน (ovalbumin) ซึ่งเป็นตัวที่เกี่ยวกับการคงตัวแข็ง (coagulate) เมื่อถูกความร้อนและการตีแรงๆเร็วๆ โคนัลบูมิน (conalbumin) และโอโวโมคอยล์ (ovomocoid) (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544; Davies, 1997)

ค. ไข่แดง มีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 31ของไข่ทั้งฟอง ไข่แดงจะแยกออกจากไข่ขาวโดยเยื่อหุ้มไข่แดงที่เรียกว่าถุงไข่แดง ไข่แดงจะถูกยึดให้อยู่ในตำแหน่งโดยเยื่อจากไข่ขาวที่ยึดไข่แดงเอาไว้ และตำแหน่งของไข่แดงจะอยู่จะอยู่ช่วงตรงกลางของไข่ สีของไข่แดงไม่มีผลต่อคุณภาพของไข่ ส่วนประกอบของไข่แดงประกอบด้วยน้ำ ในไข่แดงมีน้ำอยู่เกือบร้อยละ 50 ไขมัน และโปรตีน (Davies, 1997) ไข่แดงส่วนใหญ่เป็นของแข็งประกอบด้วยไขมัน สารไขมันจะอยู่ในรูปสารแขวนลอยที่ละเอียด ในไข่แดงมีเลซิทินเป็นตัวที่ทำให้ไขมันมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟด์ และเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียขึ้นเมื่อเก็บไข่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง เลซิทินมีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 7 และ 10 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ไข่แดงช่วยให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544)

3.2.2 คุณค่าทางอาหารของไข่

ไข่เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารในปริมาณค่อนข้างสูง โดยโปรตีนของไข่มีอยู่มากทั้งในไข่แดงและไข่ขาวเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย ในไข่แดงมีโปรตีนอยู่ประมาณ 16.5 กรัม/100 กรัม ในไข่ขาวมีโปรตีน 9 กรัม/ 100 กรัม (Davies, 1977) ในไข่แดงมีส่วนประกอบของไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักไข่ ประกอบไปด้วยไตรกลีเซอร์ไรด์ร้อยละ 65.5 ฟอสฟอลิพิดร้อยละ 28.3 และคอเลสเทอรอลร้อยละ 5.2 ในไข่นั้นมีคาร์โบไฮเดรตอยู่เพียงเล็กน้อย แต่จะมีน้ำอยู่ในทุกๆส่วนของไข่ โดยมีน้ำในไข่ขาวมากกว่าไข่แดง หน้าที่ของน้ำในไข่คือเป็นตัวทำละลายและระบายความร้อนให้แก่ไข่ที่เชื้อกำลังเติบโต มีวิตามินเอและวิตามินดีในไข่แดงเป็นปริมาณมาก

ส่วนแร่ธาตุในไข่นั้น ได้แก่ ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุเหล็ก (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2539)

3.2.3 หน้าที่ของไข่ที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ไข่ช่วยให้เกิดโครงสร้าง ความชื้น กลิ่นรส สีและคุณค่าทางอาหารแก่เค้ก โครงสร้างที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการรวมตัวของโปรตีนในไข่ในระหว่างอบ นอกจากนั้นอากาศที่ไข่เก็บไว้ในระหว่างการตีก็จะช่วยให้เกิดการขึ้นฟูอีกด้วย ในเค้กประเภทเค้กไข่ ไข่จะทำให้เค้กขึ้นฟู หน้าที่หลักของไข่สดในการทำขนมแยกเป็นข้อๆได้ดังนี้ (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544)

ก. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู เมื่อตีไข่ขาวจะเกิดฟองอากาศเล็กๆเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละฟองก็ถูกล้อมรอบด้วยแผ่นโปรตีนจากไข่ การตีไข่ด้วยเครื่องและการสัมผัสของแผ่นโปรตีนบางๆกับอากาศ จะทำให้โปรตีนบางส่วนแข็งตัวและทำให้ฟองนั้นคงตัวในการอบ ฟองอากาศจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน และแผ่นโปรตีนจะยืดหยุ่นเพียงพอที่จะยืดได้ เมื่อส่วนผสมหรือไข่ขาวที่ตีแข็งได้รับอุณหภูมิถึงจุดโปรตีนจะแข็งตัวอย่างทั่วถึง จะสูญเสียความยืดหยุ่นและจะจับตัวเป็นโครงสร้างที่แข็งของผลิตภัณฑ์

ข. ทำให้เกิดสีในผลิตภัณฑ์ ไข่แดงจะช่วยให้เค้กมีสีเหลือง

ค. ให้ความมันแก่ผลิตภัณฑ์ ไข่ช่วยให้ส่วนผสมมีความมัน สามารถผสมได้ง่ายขึ้น

ง. ให้กลิ่นรสและความเข้มข้นแก่ผลิตภัณฑ์ ไข่มีกลิ่นเฉพาะซึ่งบางคนชอบให้มีในผลิตภัณฑ์ และไข่มีไขมันและของแข็งอื่นๆ ผลิตภัณฑ์จะมีไขมันเพิ่มขึ้นและมีรสหวานขึ้น

จ. ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความสดและมีคุณค่าทางอาหาร ไข่มีความชื้นร้อยละ 75 สำหรับไข่ทั้งฟอง และมีความสามารถตามธรรมชาติในการที่จะรวมและเก็บความชื้นไว้ จึงทำให้การแห้งของผลิตภัณฑ์เกิดช้าลง ไข่มีคุณค่าทางอาหารสูง และโปรตีนที่มีในไข่ก็เป็นโปรตีนที่สมบูรณ์ ให้กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ ไข่ยังช่วยให้วิตามินที่สำคัญกับร่างกาย เช่น วิตามินเอ ดี ไทอะมิน และไรโบฟลาวิน

3.3 น้ำตาล

น้ำตาล (sugar) คือ ผลึกซูโครส (sucrose) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต สูตรทางเคมีของน้ำตาล คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ เกิดจากการสังเคราะห์แสงในพืชอยู่ในรูปแป้ง (starch) น้ำตาลซูโครสจะมีลักษณะเป็นผลึกสีขาว หลอมตัวที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส ละลายในน้ำได้ 204 กรัม ต่อน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถละลายได้น้อยในแอลกอฮอล์ (ไพบูลย์, 2532) การผลิตน้ำตาลจากอ้อยมีหลักฐานว่าชาวเปอร์เซียเป็นผู้คิดค้นทำผลึกน้ำตาลเป็นชาติแรกเมื่อปี พ.ศ. 1043 และมีการคิดทำน้ำตาลฟอกขาวในปี พ.ศ. 1543 ส่วนน้ำตาลจากบีทผู้ที่ริเริ่มคือ Andreas Sigismud Markgraf ชาวเยอรมัน ใน พ.ศ. 2290 และมีการพัฒนากรรมวิธีในการผลิตน้ำตาลมาเรื่อยๆ จนกระทั่งสามารถทำให้เป็นผลึกออกมาในรูปน้ำตาลเกร็ด (centrifugal sugar) สำหรับชาวไทยรู้จักน้ำตาลมานานแล้ว ไทยสามารถผลิตน้ำตาลได้ตั้งแต่สมัยสุโขทัย โดยผลิตเฉพาะน้ำตาลทรายแดง (muscovado) แหล่งผลิตอยู่ที่สุโขทัย พิษณุโลก และกำแพงเพชร จากนั้นกรรมวิธีการผลิตน้ำตาลก็พัฒนาเรื่อยๆเช่นกัน จนกระทั่ง พ.ศ. 2480 รัฐบาลไทยตั้งโรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวของประเทศไทยขึ้นเป็นแห่งแรกที่จังหวัดลำปาง พืชที่ถือว่ามีความสำคัญต่อประเทศไทยสำหรับการผลิตน้ำตาลคืออ้อย น้ำตาลใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน นอกจากจะให้ความหวานแล้ว น้ำตาลยังสามารถทำหน้าที่อื่นๆได้อีก เช่นการใช้น้ำตาลในการถนอมอาหาร เป็นต้น (สมบัติ, 2528; ส่วนวิชาการสำนักบริหาร, 2521)

3.3.1 คำจำกัดความของน้ำตาล

สมบัติ (2528) ได้ให้คำจำกัดความของน้ำตาลไว้ว่า น้ำตาลหมายถึง สารให้ความหวานมีลักษณะเป็นผลึก เมื่อถูกทำให้บริสุทธิ์จะมีสีขาวหรือมีสีอื่นเพียงเล็กน้อย มีอยู่มากในพืชที่มีน้ำ ผลไม้ น้ำตาลยังเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้อาหารคงรูปด้วย (sweet crystallizable substance, colorless or white when pure, occurring in many fruit plant juice and forming an importance article in food)

3.3.2 การเสื่อมเสียของน้ำตาล

อายุการเก็บของน้ำตาลขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาล โดยน้ำตาลที่เป็นผง เม็ด หรือเป็นก้อนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ถ้าไม่เปิดให้โดนอากาศสามารถเก็บได้นาน 3 เดือน ส่วนน้ำตาลในรูปน้ำเชื่อม (syrup) และน้ำผึ้งเก็บได้ถึง 1 ปี เมื่อเปิดให้น้ำตาลสัมผัสกับอากาศน้ำตาลจะดูดซับความชื้น เพราะน้ำตาลมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น ส่วนน้ำเชื่อมเมื่อสัมผัสอากาศจะระเหยไปเป็นผลึกของน้ำตาล (Davies, 1997) การที่น้ำตาลสามารถดูดซับความชื้นไว้ได้นี้เป็นที่มาของการเสื่อมเสียหลายๆชนิด (กล้าณรงค์, 2521)

ก. การเสื่อมเสียของน้ำตาลเนื่องมาจากสี น้ำตาลที่เก็บไว้นานๆ อาจมีการเปลี่ยนสีได้ จุดเริ่มต้นมาจากผิวของน้ำเชื่อม (mother liquor) ที่เคลือบอยู่บนผลึกน้ำตาล ซึ่งเรียกกันว่า layer หรือ film ผิวนี้หนาหรือบางขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของน้ำตาล ผิวนี้มีความสามารถในการดูดซับความชื้นสูง คุณสมบัติของน้ำเชื่อมที่เคลือบอยู่บนผิวมีส่วนประกอบของสารหลายชนิด รวมทั้งไนโตรเจนด้วย จึงอาจทำให้เกิดขบวนการ non – enzymatic reaction (กล้าณรงค์, 2521)

ข. การเสื่อมเสียของน้ำตาลเนื่องมาจากการจับตัวเป็นก้อน การจับตัวเป็นก้อนเป็นแผ่น (caking) ของน้ำตาลเกิดจากลักษณะของผลึกน้ำตาลเองมากกว่าที่จะเกิดจากแรงอัดของการทับถมของน้ำตาลที่วางซ้อนกัน การจับตัวเป็นก้อนนี้โดยทั่วไปเกิดจาก

1) เมื่อบรรยากาศในที่เก็บน้ำตาลมี relative humidity สูง หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างสูงผิวของน้ำตาลจะละลายเยิ้มติดกัน เมื่อมีการระเหยออกของน้ำในผิวก็จะทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน

2) ผลึกของน้ำตาลมีลักษณะแตกต่างกันเล็กบ้างใหญ่บ้าง เมื่อบรรจุลงกระสอบเดียวกัน ผลึกที่มีขนาดเล็กซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำในผลึกมากซึ่งก็แสดงว่ามีน้ำอยู่ในเปอร์เซ็นต์สูง เมื่อมีผลึกเล็กๆจำนวนมากจำนวนน้ำในกระสอบก็มาก การเปลี่ยนแปลงระหว่างการระเหยออกของน้ำย่อมทำให้ผิวของผลึกเยิ้มและติดกันจับตัวเป็นเป็นก้อนในที่สุด

3) การบรรจุน้ำตาลขณะที่อุณหภูมิของผลึกน้ำตาลสูง (เกินกว่า 45 องศาเซลเซียส) เมื่อบรรจุแล้วน้ำตาลเย็นตัวลงก็ทำให้เกิดการดูดกลับของความชื้น (หรือน้ำ) ในอากาศเป็นสาเหตุของการจับตัวกันเป็นก้อน

4) การผลิตน้ำตาลได้ความบริสุทธิ์ต่ำ ทำให้มีสิ่งเจือปนติดมามากโดยเฉพาะ mother liquor ที่ติดอยู่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะได้เป็นอย่างดี ทำให้เกิดการติดกันเป็นก้อน

3.3.3 หน้าที่ของน้ำตาลที่มีต่อผลิตภัณฑ์

น้ำตาลเป็นตัวช่วยให้เค้กมีความนุ่มและหวาน เพราะน้ำตาลมีผลทำให้โปรตีนในแป้งอ่อนตัว ช่วยให้เกิดสีของเปลือกนอกของเค้ก และช่วยให้เค้กมีคุณภาพในการเก็บดีขึ้น เนื่องจากน้ำตาลมีคุณสมบัติในการเก็บความชื้นที่ดี ในการทำเค้กควรใช้น้ำตาลชนิดละเอียดเพื่อที่จะละลายได้อย่างสมบูรณ์ในระหว่างการผสม ปัจจัยที่ทำให้น้ำตาลละลายมีอยู่ 4 ประการ คือเวลาที่ใช้ในการผสม อุณหภูมิในระหว่างการผสม ขนาดของเม็ดน้ำตาล และปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในส่วนผสม (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544) ได้แยกหน้าที่ของน้ำตาลไว้เป็นข้อๆดังนี้

ก. น้ำตาลช่วยเพิ่มรสชาติให้แก่อาหาร ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ (Davies, 1997)

ข. น้ำตาลช่วยทำให้เนื้อขนมนุ่มเบาและดีขึ้น มีหลายเหตุผลว่าทำไมน้ำตาลจึงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมนุ่มเบาขึ้น เมื่อมีน้ำตาลอยู่การดูดน้ำของแป้งจะลดลงและกลูเตนจะเกิดการฟอร์มตัวได้ยากเพราะน้ำตาลเข้าไปขัดขวางอยู่ทำให้เค้กนุ่มและเบาขึ้น อีกทั้งน้ำตาลยังไปเพิ่มอุณหภูมิที่จะทำให้ไข่เกาะตัวเป็นก้อนให้สูงขึ้นจึงไปยืดเวลาการ pasing ของสตาร์ชในแป้งและน้ำตาลทำให้เวลาในการที่แก๊สจะขยายตัวภายในเซลล์ของขนมมากขึ้นก่อนที่ส่วนผสมจะเซ็ทตัวจึงทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มและเบาขึ้น (Davies, 1997)

ค. น้ำตาลช่วยในการตีครีมและไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู โดยน้ำตาลจะทำหน้าที่เติมอากาศเข้าไปในส่วนผสม หน้าที่นี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลที่เติมเข้าไปด้วย น้ำตาลช่วยเพิ่มอากาศให้กับส่วนผสมระหว่างการตีครีม ผลึกของน้ำตาลจะผสมกับไขมันและอากาศ น้ำตาลจะไปทำให้ไขมันและอากาศติดแน่นอยู่กับผลึกน้ำตาล อากาศที่เติมเข้าไปทำให้เกิดฟองขนาดเล็ก

ภายในไขมัน น้ำตาลที่มีเม็ดยิ่งเล็กก็จะมีคุณสมบัติข้อนี้มากเพราะจะยิ่งเป็นการเพิ่มผลึกน้ำตาลให้กับส่วนผสมมากขึ้นและจะมีเซลล์ของอากาศที่ใช้สำหรับการรวมตัวมากขึ้น แต่น้ำตาลไอซิ่งกับน้ำตาลในรูปของเหลว เช่นน้ำผึ้งจะไม่มีคุณสมบัติในข้อนี้ (Davies, 1997)

ง. น้ำตาลช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์ชุ่มชื้นอยู่ได้นาน เนื่องจากน้ำตาลมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลฟรุกโตส (Davies, 1997)

จ. น้ำตาลทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีที่ดีขึ้น น้ำตาลมีผลต่อสีของขนมอบ ยกตัวอย่างเช่นในขนมปังที่ใส่ยีสต์และเค้ก น้ำตาลจะทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นที่เปลือกของขนม (Davies, 1997)

ฉ. น้ำตาลเป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก น้ำตาลจะไปกระตุ้นการทำงานของยีสต์ หากไม่มีน้ำตาลก็จะมีผลทำให้การหมักเกิดช้าลง การหมักจะเกิดขึ้นเร็วมากเมื่อมีน้ำตาลจำนวนร้อยละ 15 ของน้ำหนักแป้ง ถ้าใส่น้ำตาลมากกว่าร้อยละ 10 การหมักจะช้าลงเพราะน้ำตาลจะไปดูดน้ำออกจากเซลล์ของยีสต์ (Davies, 1997)

ช. น้ำตาลมีผลต่อความสม่ำเสมอของส่วนผสม น้ำตาลจะมีผลต่อฟองที่เกิดจากไข่ขาว โดยน้ำตาลที่ผสมกับไข่ขาวจนเป็นฟองน้ำจายจะทำให้ฟองของไข่ขาวแพร่กระจายเพิ่มขึ้นโดยที่เซลล์ของอากาศไม่แตกตัว (Davies, 1997)

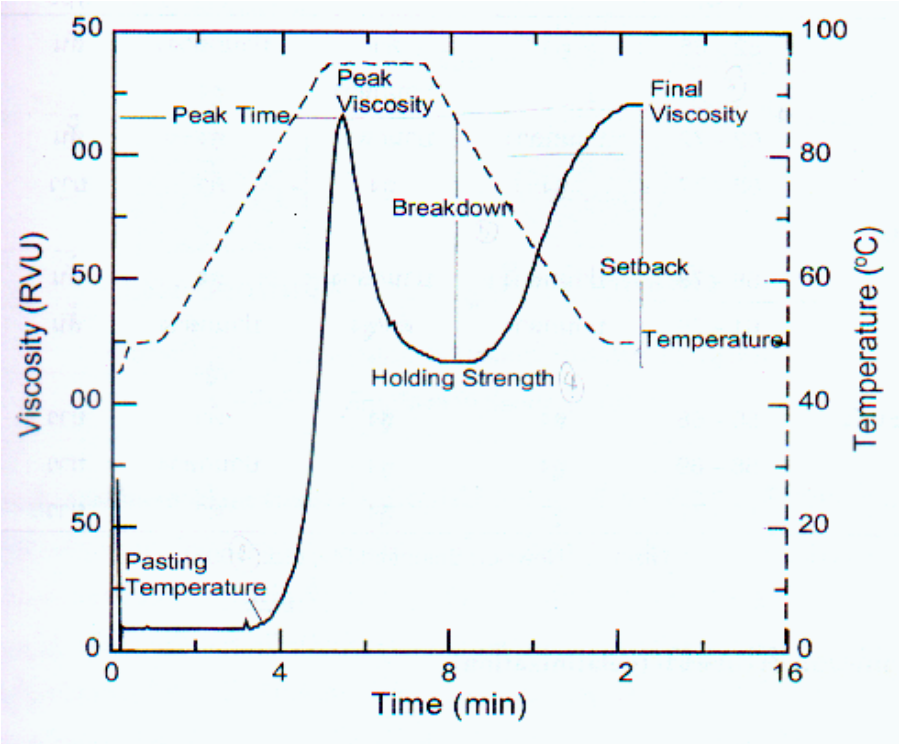
ซ. น้ำตาลทำหน้าที่เป็นสารกันบูด อาหารเช่น แยม เจลลี่ มีอายุการเก็บยาวนาน เพราะมีน้ำตาลอยู่มากไปยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ น้ำตาลยังช่วยรักษารูปร่างของผลไม้ ในผลไม้แปรรูปด้วย (Davies, 1997)

ฌ. น้ำตาลใช้เตรียมเป็นน้ำตาลไอซิ่งชนิดต่างๆสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544)

ญ. น้ำตาลช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์ (จิตธนา และ อรอนงค์, 2544)

4. **<u>การวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง</u>** <u>Rapid Visco Analyser (RVA)</u>

Rapid Visco Analyser (RVA) เป็นเครื่องมือประเมินคุณภาพความหนืดของแป้งและผลิตภัณฑ์อื่นๆที่มีลักษณะแบบแป้งเปียก (paste) พิจารณาความหนืดขณะให้ความร้อน สามารถกำหนดควบคุมอุณหภูมิในการวัดให้คงที่, เพิ่มขึ้น หรือลดลงตามความต้องการได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนอัตราการหมุนของใบพัดในขณะทดสอบ เพื่อทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ต่อการหมุนปั่น แสดงหน่วยวัดความหนืดเป็น RVA และ cPs หลักการวัดค่าของเครื่อง คือจะมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด โดยได้รับแรงเฉือนจากการกวนอย่างสม่ำเสมอ เครื่องจะทำการบันทึกค่าความหนืดอย่างต่อเนื่อง กล้าณรงค์และเกื้อกูล (2543) กล่าวว่า เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งเกิดการดูดน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น ส่วนผสมของสารละลายน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้นเพราะโมเลกุลของน้ำอิสระรอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวยากขึ้น เกิดความหนืดเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาทิไนเซชั่น (gelatiniation) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่าอุณหภูมิเริ่มเจลาทิไนเซชั่น สำหรับเครื่องมือวัดความหนืด มักเรียกจุดนี้ว่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ค่าเหล่านี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเพราะเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้นจนเม็ดแป้งบางส่วนเริ่มแตก เมื่อส่วนที่แตกมีปริมาณมากกว่าส่วนที่พองตัวความหนืดจะลดลง โดยจุดที่สารละลายน้ำแป้งมีความหนืดสูงสุดเรียกจุดนั้นว่า peak viscosity ความหนืดสูงสุดของสารละลายน้ำแป้งในระหว่างเจลาทิไนซ์จะแตกต่างไปตามชนิดของแป้ง ในการวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง RVA อุณหภูมิจะเพิ่มสูงสุดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และจะคงที่ช่วงเวลาหนึ่งจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลง โดยความหนืดต่ำสุดที่เกิดระหว่างการทำให้สารละลายน้ำแป้งเย็นลงเรียกว่า holding strength อุณหภูมิจะลดลงจนสิ้นสุดที่ 50 องศาเซลเซียส การลดลงของอุณหภูมิทำให้เกิดการรีโทรกราเดชัน (retrogradation) เป็นการคืนตัวของน้ำแป้งสุก (พรวีนัส, 2544) ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลแอมิโลสของแป้งที่แตกออกกลับมาเรียงตัวกันใหม่ ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ที่มา: Newport Scientific (1995)

ค่าที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องและจุดต่างๆของกราฟมีความหมายดังนี้ (กล้าณรงค์และเกื้อกูล , 2543)

1) เวลาที่ให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
2) อุณหภูมิที่ให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
3) อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
4) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
5) ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำเย็น (holding strength) มีหน่วยเป็น RVU
6) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU
7) ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
8) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback from peak) มีหน่วยเป็น RVU
9) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) มีหน่วยเป็น RVU

5. <u>การวัดค่าทางเนื้อสัมผัส</u>

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมสาลี่โดยวิธีการดังนี้ 1) การวัดค่าระดับความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิม (Degree of Elasticity) 2) การวัดค่าเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis)

5.1 การวัดค่าระดับความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม (Degree of elasticity)

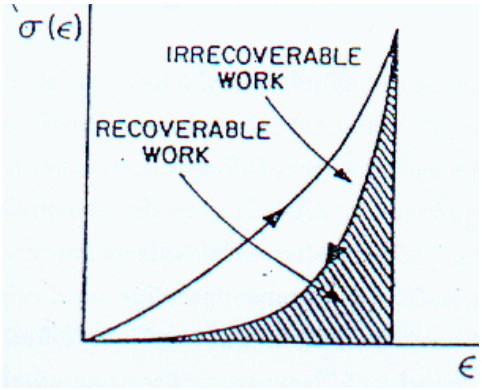
Elasticity หมายถึง ความสามารถในการกลับสู่สภาพเดิม หลังจากที่ตัวอย่างถูกกดหรือทำให้ผิดรูปร่าง (deformation) Degree of Elasticity หรือระดับความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม ถูกอธิบายในรูปของอัตราส่วนของการคืนตัวและปริมาณการเสียรูปทั้งหมดที่เกิดจากการกด (compression) หรืออยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ (Bourne, 1982) ดังสมการที่ 1

$$\text{Degree of Elasticity} = \frac{\text{Recoverable Deformation}}{\text{Total Deformation}} \times 100 \qquad (1)$$

สามารถอธิบายค่า Degree of elasticity ในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Recoverable Work และ Total Work ได้ดังสมการที่ 2

$$\text{Degree of Elasticity} = \frac{\text{Recoverable Work}}{\text{Total Work}} \times 100 \qquad (2)$$

Total Work และ Recoverable Work จะคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของความเค้นและความเครียด โดยมีหน่วยเป็น งาน/ปริมาตรของตัวอย่าง งานที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟของค่าแรงกับการเสียรูป (force-deformation) หรือจากกราฟของความเค้นและความเครียด (stress-strain) ดังแสดงในภาพที่ 5

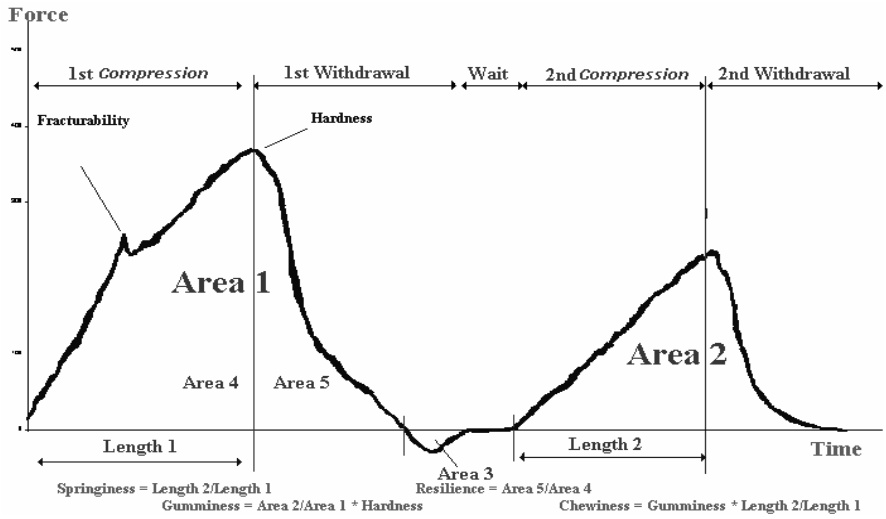


ภาพที่ 5 ค่างานที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียด

ที่มา: Kaletunc *et al*. (1991)

5.2 การวัดค่าเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis – TPA)

การวัดค่า Texture Profile Analysis จะได้ค่าทดสอบที่คล้ายคลึงกับการทำ Texture Profile ด้วยวิธีทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัส คือมีการอธิบายศัพท์เกี่ยวกับเนื้อสัมผัสทางอาหาร Friedman *et al.* (1963) กล่าวว่าเครื่องมือในการวัดค่ามีการออกแบบเลียนแบบการทำงานของแรงภายในปาก ลักษณะของกราฟที่ได้จากการวัดค่า ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis (TPA)

ที่มา: Bourne (1982)

Civile and Szczesiak (1973) และ Bourne (1982) ได้กล่าวถึงความหมายของค่าคุณลักษณะทางลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากการทำ Texture Profile Analysis ประกอบไปด้วย

5.2.1 ค่าความแข็ง (Hardness) คือแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูป เมื่อพิจารณาจากกราฟ TPA ค่า hardness เป็นจุดพีคสูงสุดที่ได้จากการกดผลิตภัณฑ์ลงไปในครั้งแรก โดยจุดที่เกิด hardness ไม่จำเป็นต้องเป็นจุดที่เกิดจากการกดแรงลงไปยังผลิตภัณฑ์ในจุดที่ลึกที่สุด แม้ว่าในผลิตภัณฑ์ทั่วไปจะมีลักษณะเป็นเช่นนั้นก็ตาม

5.2.2 ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) คือขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก จากกราฟ TPA สามารถวัดได้จากพื้นที่ของงานระหว่างการกดผลิตภัณฑ์ลงไปเป็นครั้งที่สองหารด้วยพื้นที่ของงานระหว่างการลงผลิตภัณฑ์ลงไปเป็นครั้งแรก (Area 2/Area 1)

5.2.3 ค่า Springiness (ความยืดหยุ่น) คืออัตราของการคืนรูปของวัสดุหลังจากการถูกกด ค่า springiness ทำให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์สามารถคืนตัวกลับได้ดีเพียงใด การวัดค่า springiness สามารถทำได้หลายวิธีแต่โดยทั่วไปจะทำการวัดได้จากระยะทางของจุดที่เริ่มการกดผลิตภัณฑ์ครั้งที่สองยังจุดที่เกิดพีคที่สอง (จากกราฟ TPA คือ Length 2) หารด้วยระยะทางของจุดที่เริ่มการกดผลิตภัณฑ์ครั้งแรกไปยังจุดที่เกิดพีคแรก (จากกราฟ TPA คือ Length 1) ดังนั้น ค่า springiness คือ Length 2/Length1

5.2.4 ค่า Adhesiveness (ความสามารถในการติดผิววัสดุ) คืองานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุอื่นที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่

5.2.5 ค่าการแตกหัก (Fracturability) คือแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหัก จากกราฟ TPA ค่า Fracturability คือพีคแรกที่เกิดขึ้นในขณะที่ยังมีการกดผลิตภัณฑ์ลงไปในการกดครั้งแรก

5.2.6 ค่าการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) คือแรงที่ใช้ในการเคี้ยว บดตัวอย่างจนกระทั่งสามารถกลืนได้ ค่า Chewiness ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแข็ง โดยคำนวณได้จาก ค่า gumminess x springiness (โดยค่า springiness เท่ากับ Length 2/Length 1)

5.2.7 ค่าความเหนียวเป็นยางหรือเป็นกาว (Gumminess) คือแรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกึ่งของแข็งจนกระทั่งสามารถที่กลืนได้ คำนวณได้จาก ค่า hardness x cohesiveness (โดยค่า cohesiveness เท่ากับ Area 2/ Area1)

6. <u>เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์</u>

เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster Analysis) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) การแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology; RSM)

6.1 เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster Analysis)

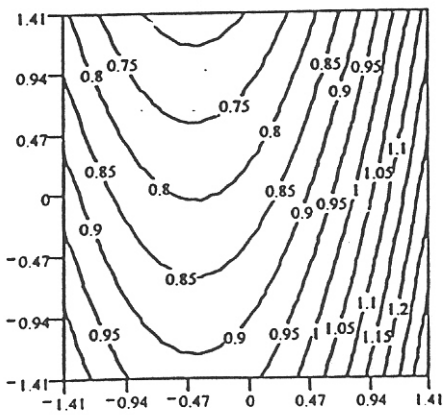
เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูลหรือตัวแปร (Cluster Analysis) เป็นเทคนิคในการจัดกลุ่มของสิ่งที่มีลักษณะคล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยสมาชิกที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมาก สมาชิกต่างกลุ่มจะมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (กัลยา, 2544; Clustan, n.d.; Stat Soft, n.d.) สามารถใช้เทคนิคนี้ในงานหลายด้าน ตัวอย่างงานวิจัยของ Ledikwe *et al.* (2004) ใช้เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล ศึกษารูปแบบการบริโภคของผู้สูงอายุที่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักและสถานภาพการบริโภค โดยทำการรวบรวมข้อมูลทางประชากรศาสตร์ พฤติกรรมที่เกี่ยวกับสุขภาพ ข้อมูลทางมานุษยวิทยา และตัวอย่างเลือด ทำการจัดกลุ่มด้วยเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) สามารถจัดกลุ่มของรูปแบบการบริโภคได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีภาวะทางโภชนาการต่ำเป็นกลุ่มที่รับประทานอาหารประเภทขนมปัง ขนมหวาน เนื้อสัตว์ ไข่ และไขมัน/น้ำมัน เป็นปริมาณสูง กลุ่มนี้เป็นกลุ่มส่วนใหญ่มีรูปร่างอ้วน ปริมาณพลังงานที่รับเข้าไปทั้งหมดสูง ระดับ B12 ในพลาสมาต่ำ อีกกลุ่มคือกลุ่มที่มีภาวะทางโภชนาการสูงเป็นกลุ่มที่รับประทานอาหารประเภทธัญพืช ผักสีเขียว/เหลือ ผักอื่นๆ ผลไม้ น้ำผลไม้ นม เนื้อไก่ ปลา เป็นจำนวนมาก กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่รอบเอวไม่มาก ปริมาณพลังงานที่รับเข้าไปทั้งหมดไม่สูงมากนักเพราะรับประทานอาหารประเภทใยอาหารสูง ระดับ B12 ในพลาสมาสูง

6.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักหรือ Principal Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคทางสถิติที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดขนาดของตัวแปรที่มีจำนวนมากให้มีขนาดเล็กลง ทำการรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกัน กลุ่มของตัวแปรใหม่เรียกว่าองค์ประกอบ (Principal Component; PC) ความสัมพันธ์อาจเป็นในเชิงลบหรือบวกก็ได้ แต่หากตัวแปรอยู่ต่างกลุ่มกันแสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน เมื่อมีการขจัดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องออกทำให้สามารถเข้าใจตัวแปรได้มากขึ้น (วิลัศนา, 2546; Anonymous, n.d.) ตัวอย่างงานวิจัยของ Hongsprabhas (2001) ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักศึกษาคุณสมบัติทาง Viscoelasticity ของเจลแป้งผสมโดยทำการศึกษาปัจจัยของวัตถุดิบที่เติมลงไปซึ่งส่งผลต่อเจลของแป้งถั่วเขียว เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) สามารถจำแนกประเภทของเจลแป้งผสมที่มีคุณสมบัติทาง Viscoelasticity ที่แตกต่างกันได้ 3 ประเภท คือแข็งและยืดหยุ่น, อ่อนและยืดหยุ่น, อ่อนและไม่ยืดหยุ่น คุณสมบัติของเจลแป้งผสมขึ้นอยู่กับระดับและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เติมลงไป ยกตัวอย่างเช่นหากมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากกว่าร้อยละ 0.75 เจลแป้งผสมจะมีลักษณะเละ ในขณะที่ใส่ okara มากกว่าร้อยละ 3.0 เจลแป้งผสมจะมีลักษณะเป็นยาง งานวิจัยนี้สามารถช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสตาร์ชเป็นพื้นฐานในการผลิตเพื่อให้ได้คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสตามที่ต้องการ

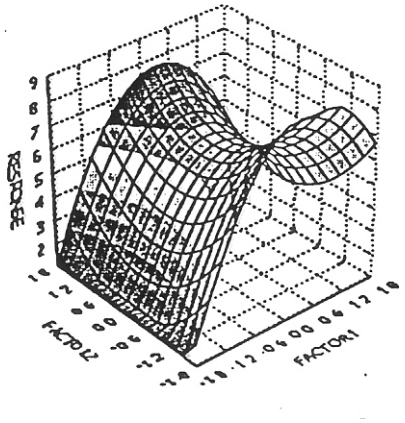
6.3 วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology; RSM)

วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (RSM) ใช้ในการสร้างแบบหุ่นและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองจากตัวแปรต่างๆเพื่อหาจุดที่เหมาะสมต่อผลนั้น โดยจำเป็นต้องหาฟังก์ชันที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตามหรือค่าตอบสนองที่มีต่อตัวแปรอิสระต่างๆ มักใช้ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล (polynomial) การได้มาซึ่งฟังก์ชั่นต่างๆมักได้มาจากสมการรีเกรสชั่น ในการแสดงผลของวิธีการนี้มักแสดงออกมาเป็นกราฟที่มีลักษณะ 2 มิติ (contour plot) และ 3 มิติ (surface contour) ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ การวิเคราะห์ด้วย RSM สามารถวิเคราะห์หาจุดสูงสุดหรือจุดที่เหมาะสมของผลตอบสนองได้ แต่จุดที่ให้ค่าสูงสุดอาจไม่จำเป็นต้องเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดเสมอไป (Montgomery, 1991; อิศรพงษ์, 2544)



ภาพที่ 7 กราฟ 2 มิติ หรือแบบ Contour plot

ที่มา: อิศรพงษ์ (2544)



ภาพที่ 8 กราฟ 3 มิติ หรือแบบ Surface contour

ที่มา: อิศรพงษ์ (2544)