

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata*) เป็นพืชตระกูลถั่วที่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญ นิยมปลูกอย่างกว้างขวางในแอฟริกาตะวันตก อเมริกาใต้ อินเดีย และประเทศในเขตร้อน สำหรับในประเทศไทย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีการปลูกถั่วพุ่มพันธุ์พื้นเมือง (Local Cowpea) เพื่อการบริโภคในรูป ผักสด โดยเมล็ดถั่วพุ่มมีโปรตีนสูงถึง 23-25% คาร์โบไฮเดรต 57% ไขมัน 1.3% และแร่ธาตุ 3.5% ถั่วพุ่มเป็นอาหารที่ย่อยง่ายและมีคุณค่าทางอาหารสูง ถึงแม้ว่าจะขาดกรดอะมิโนพวกเมตไทโอนีน และซิสทีน แต่ก็มีพวกไลซีน และทริปโตเฟน ซึ่งมักพบน้อยมากในธัญพืชส่วนใหญ่ นอกจากนี้การบริโภคถั่วพุ่มยังทำให้มีปัญหาเรื่องท้องอืดน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่น (กฤษฎา, 2537)

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับถั่วพุ่ม

2.1.1 ลักษณะของถั่วพุ่ม



ภาพประกอบ 2.1 ลักษณะต้นถั่วพุ่ม
ที่มา : <http://www.rakbankerd.com>

ชื่อสามัญ ถั่วพุ่ม (Cowpea, Southern Pea)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Vigna Unguiculata* (L.) Walp. ssp. *Unguiculata*

ชื่ออื่น Black Pea, Southern Pea, China Pea, ภาคอีสานเรียกว่า ถั่วหนัง

ตระกูล Fabaceae

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.1.2.1 ลักษณะต้น

ถั่วพุ่มมีลักษณะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันตามพันธุ์ซึ่งมีอยู่หลายสายพันธุ์ สามารถจำแนกตามลักษณะการเจริญเติบโตได้ดังนี้

1) จำพวกที่มีลำต้นเลื้อยบนดิน (*Vigna Unguiculata*) มีทั้งพันธุ์ป่าและพันธุ์ที่ปลูกทางการค้า ลักษณะลำต้นเลื้อยไปตามดิน พวกที่เป็นพันธุ์ปามีขนาดของเมล็ดเล็กและมีลายหรือสีด่างส่วนมากปลูกเป็นอาหารสัตว์ พบมากในประเทศกานา ส่วนพวกเมล็ดไม่มีลายพบมากในภาคเหนือของไนจีเรีย ปลูกเพื่อใช้เมล็ดเป็นอาหารของมนุษย์

2) พวกที่มีลำต้นเลื้อยพันบนหลัก (*Vigna Sesquipedatis*) บางครั้งเรียกว่า Yard Long Bean หรือ Asparagus Bean มีฝักยาวประมาณ 60 เซนติเมตร ลำต้นอ่อนเลื้อยพันไปตามหลัก เมล็ดมีขนาดใหญ่รูปร่างคล้ายไต เมล็ดมีสีดำ น้ำตาล และแดงนวล นิยมบริโภคเป็นผักสดหรือนำเมล็ดแกงมาปรุงเป็นอาหาร

3) พวกที่มีลำต้นพุ่มตั้งตรง (*Vigna Catiang*) ฝักจะสั้นมีความยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร เมล็ดจะมีขนาดเล็กกว่าพวกที่สอง รูปร่างเหมือนไต สีดำแดงนวล ปลูกเพื่อเอาเมล็ดเพียงอย่างเดียว ถั่วพุ่มชนิดนี้มีอายุสั้นประมาณ 65-75 วัน

2.1.2.2 ลักษณะดอก

ดอกของถั่วพุ่มมีสีขาว หรือขาวอมม่วง เป็นจุดหรือสีม่วงมีช่อดอกแบบราซิมส์สั้นๆ สายพันธุ์ส่วนใหญ่จะมีก้านดอกยาวตั้งแต่ 20 -50 เซนติเมตร และมีดอกเป็นแบบมัลติเปิลราซิมส์ ลักษณะก้านดอกที่ยาวของถั่วพุ่มเป็นเอกลักษณ์ที่แตกต่างจากถั่วชนิดอื่นๆ ทำให้สะดวกในการเก็บเกี่ยวไม่ว่าจะเป็นการเก็บด้วยมือหรือเครื่องจักร การที่มีช่อดอกยื่นขึ้นไปเหนือใบประกอบกับมีช่อดอมน้ำหวานที่ดอก ทำให้เป็นที่ดึงดูดแมลงเพื่อช่วยในการผสมเกสร ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะดอกของถั่วพุ่ม
ที่มา: <http://www.kasetporpeang.com/forums>

2.1.2.3 ลักษณะของฝักและเมล็ด

ฝักมีลักษณะเรียวยาว 15-25 เซนติเมตร มีรูปทรงกระบอกและงอเล็กน้อยมักมีสีเหลืองเมื่อแห้ง เมล็ดมีแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์เช่น เมล็ดสีดำ ขาว แดง น้ำตาล และลาย มีรูปร่างค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับความกว้างของเมล็ด ลักษณะของเมล็ดถั่วพุ่มที่มีสีแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3



ถั่วพุ่มเมล็ดดำ



ถั่วพุ่มเมล็ดขาว



ถั่วพุ่มเมล็ดแดง



ถั่วพุ่มเมล็ดน้ำตาล



ถั่วพุ่มเมล็ดลายขาวดำ

ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะของถั่วพุ่มที่มีสีแตกต่างกัน

ที่มา : <http://www.flickr.com> และ <http://www.rakbankerd.com>

2.1.3 สายพันธุ์ของถั่วพุ่มที่พบในประเทศไทย

ถั่วพุ่มที่ปลูกในประเทศไทยมีการปลูกเพื่อใช้ประโยชน์ และเพื่อการบริโภค โดยส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์จากเมล็ดและฝักสด ซึ่งสามารถแบ่งตามสายพันธุ์ได้ดังนี้

2.1.3.1 สายพันธุ์ CP4-2-3-1 เป็นถั่วพุ่มเมล็ดดำ ทรงพุ่มค่อนข้างเลื้อย ใบมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ดอกสีม่วงเข้ม ฝักสดสีเขียว ฝักแบนและโค้งเล็กน้อย ติดฝัก 2-4 ฝักต่อช่อดอก เมื่อฝักแห้งเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว เก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อายุเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 70-75 วัน เมล็ดสีดำสนิท รูปไตค่อนข้างแบน น้ำหนัก 100 เมล็ดประมาณ 14.5-15.5 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 120-150 กิโลกรัม/ไร่

2.1.3.2 สายพันธุ์ IT 82 E-9 เป็นถั่วพุ่มเมล็ดสีดำ มีลักษณะทรงต้นแบบพุ่ม สูงประมาณ 25-35 เซนติเมตร ดอกสีม่วงเข้ม ฝักสดสีเขียวเข้ม ฝักโค้งเล็กน้อย มีจอยฝักเป็นสีม่วง ฝักตกเมื่อฝักแห้ง จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำ ติดฝัก 2-4 ฝักต่อช่อดอก เก็บเกี่ยวได้ 2-3 ครั้ง อายุเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 65-72 วัน เมล็ดสีดำสนิท น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 13.5-15.0 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 150-200 กิโลกรัมต่อไร่ อ่อนแอต่อโรคใบไหม้ ควรหลีกเลี่ยงไม่ปลูกในแหล่งที่มีโรคนี้ระบาดรุนแรง

2.1.3.3 สายพันธุ์ KKU 305 เป็นถั่วพุ่มเมล็ดสีดำ ที่มีขนาดเมล็ดค่อนข้างโตและทนแล้ง เป็นสายพันธุ์ดีของมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีลักษณะทรงต้นแบบพุ่ม ดอกสีม่วง ฝักสดสีเขียว

มีจอยฝักเป็นสีม่วง ฝักดก เมื่อฝักแห้ง จะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว มีจำนวน 10-12 เมล็ด ต่อฝัก เก็บเกี่ยวได้ 2-3 ครั้ง อายุเก็บเกี่ยวครั้งแรก ประมาณ 65-72 วัน น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 17.7 กรัม ผลผลิต เมล็ดแห้ง 180-200 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.3.4 สายพันธุ์พื้นเมืองเลย เป็นถั่วพุ่มเมล็ดสีดำที่พบว่าจะมีปลุกกันมากในแถบ จังหวัดเลย ทรงพุ่มเลื้อย ดอกสีม่วงเข้ม ฝักสดสีเขียว ติดฝัก 2-4 ฝักต่อช่อดอก เมื่อฝักแห้งเปลี่ยนเป็นสี ฟางข้าว เก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อายุเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 70-75 วัน เมล็ดรูปไต ค่อนข้างแบน และเมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 12-13 กรัม ผลผลิต เมล็ดแห้ง 100-130 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.3.5 สายพันธุ์ KCU 264 R เป็นถั่วพุ่มเมล็ดสีแดงที่มีขนาดเมล็ดโตและหนาแน่น เป็น สายพันธุ์ดีของมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีลักษณะทรงต้นแบบทรงพุ่ม ดอกสีม่วง ฝักสดสีเขียว ขนาดฝัก ใหญ่ฝักดก เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว มีจำนวน 10-12 เมล็ด/ฝัก เก็บเกี่ยวได้ 2-3 ครั้ง อายุเก็บ เกี่ยวครั้งแรกประมาณ 68 วัน น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 17.7 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 180-200 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.3.6 สายพันธุ์ KVC 7 เป็นถั่วพุ่มฝักสดของมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีลักษณะทรง ต้นแบบพุ่ม ดอกสีม่วง ฝักสดสีเขียวอ่อนและมีเนื้อมาก หวาน กรอบ เยื่อใยน้อย ไม่มีกลิ่นเหม็นเขียว ฝัก ดอกความยาวฝัก 20-30 เซนติเมตร เก็บฝักสดรุ่นแรกได้ตั้งแต่ 50 วัน หลังออก และจะเก็บฝักสดได้ มากกว่า 3 ครั้ง เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว อายุเก็บเกี่ยวเมล็ดแห้งครั้งแรกประมาณ 68 วัน เมล็ดลายขาวดำ น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 20 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 120-150 กรัมต่อไร่

2.1.3.7 สายพันธุ์ BS 6 เป็นถั่วพุ่มฝักสดทรงต้นเลื้อย ดอกสีม่วง ฝักสดสีเขียวอ่อน ขนาดฝักค่อนข้างยาวและมีเยื่อมาก หวาน กรอบ เยื่อใยน้อยไม่มีกลิ่น เหม็นเขียว ฝักดก เก็บฝักสดรุ่น แรกได้ตั้งแต่ 50 วันหลังออก และเก็บฝักสดได้มากกว่า 3 ครั้ง เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว เมล็ด แห้งเป็นสีน้ำตาล รูปไต

2.1.3.8 สายพันธุ์พื้นเมืองโนนเจริญ เป็นถั่วพุ่มฝักสด สายพันธุ์พื้นเมือง ที่พบปลูกมาก ในจังหวัดอุบลราชธานี สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดทั้งปี เพราะไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง มีลักษณะทรงต้นเลื้อย ดอกสีม่วง ฝักสดสีม่วง จะมีเนื้อมาก หวาน กรอบ มีเยื่อใยน้อย แต่ไม่มีกลิ่น เหม็นเขียว ฝักดก เก็บฝักสดรุ่นแรกได้ตั้งแต่ อายุ 50 วัน หลังออก และจะเก็บฝักสดได้มากกว่า 3 ครั้ง เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว อายุเก็บเกี่ยวเมล็ดแห้งครั้งแรกประมาณ 68 วัน เมล็ดสีน้ำตาล น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 16-18 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 80-100 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.4 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดถั่ว

ส่วนประกอบของเมล็ดแยกออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.1.4.1 เปลือกหุ้มเมล็ด (Seed Coat หรือ Testa) ทำหน้าที่ป้องกันส่วนที่อยู่ภายใน โดยป้องกันอันตรายและป้องกันการคายน้ำ หากมีเปลือก 2 ชั้น ชั้นนอกจะหนาแข็งแรงและเหนียว ส่วน ชั้นในเป็นชั้นบางๆ ซึ่งบางครั้งชั้นในไม่มี หากเห็นก้านยึดเมล็ดติดกับรังไข่เรียกก้านนี้ว่า ฟันนิควิลัส (Funiculus) เมื่อเมล็ดหลุดออกจากก้านจะเห็นเป็นรอยแผลเป็นเล็กๆเรียกว่า ไฮลัม (Hilum) ถ้าบริเวณ รอยแผลเป็นนั้นมีเนื้อแข็ง ๆ ติดมา เนื้อนั้นเรียกว่า คาร์นเคิล (Caruncle) ถ้าก้านนี้ติดอยู่กับเปลือกของ เมล็ดและเป็นสันขึ้นมาเรียกสันนั้นว่า ราพี (Raphe) สันนี้จะอยู่เหนือ รูไมโครไพล์ (Micropyle) รูนีเป็น

ทางให้หลอดละอองเรณู (Pollen Tube) ผ่านเข้าไปตอนก่อนเกิดการปฏิสนธิและเป็นทางให้รากอ่อน (Radicle) งอกออกมาจากเมล็ด

2.1.4.2 เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) เป็นอาหารสะสมสำหรับเอ็มบริโอ ส่วนใหญ่เป็นอาหารประเภทแป้ง หรือคาร์โบไฮเดรต มีโปรตีนและไขมันปะปนอยู่ด้วย พบในเมล็ดของพืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด เช่น ฝัอง ซึ่งมีเอนโดสเปิร์มแข็ง ส่วนเมล็ดของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น มะพร้าว มีเอนโดสเปิร์มทั้งของแข็งและเหลว คือ เนื้อมะพร้าว และน้ำมะพร้าว ในเมล็ดถั่วเอนโดสเปิร์มจะรวมสะสมอยู่ในใบเลี้ยงจึงเห็นได้ว่าเมล็ดถั่วสามารถแกะแยกออกเป็น 2 ซีกได้โดยง่ายแต่ละซีกนั้น คือ ใบเลี้ยง

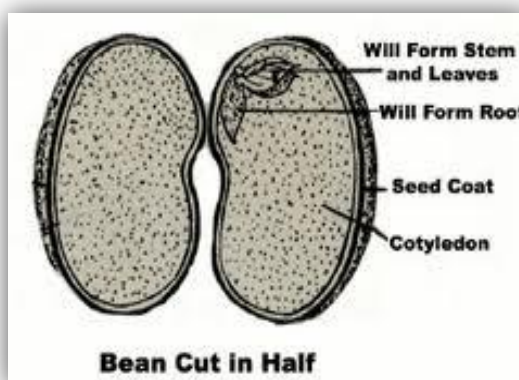
2.1.4.3 เอ็มบริโอ (Embryo) คือส่วนที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นไม้ต่อไป ส่วนนี้ประกอบด้วยส่วนย่อยๆ หลายส่วนคือ

1) ใบเลี้ยง (Cotyledon) ในพืชใบเลี้ยงคู่มี 2 ใบ และในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีเพียงใบเดียวใบเลี้ยงนี้จะไม่ทำการสังเคราะห์ด้วยแสงและไม่เจริญเติบโตต่อไป

2) เอพิคอติล (Epicoty) ส่วนที่อยู่เหนือตำแหน่งใบเลี้ยง เมื่อเมล็ดงอกเป็นต้นพืชส่วนนี้จะกลายเป็นลำต้นใบและดอกของพืช

3) ไฮโปคอติล (Hypocoty) เป็นส่วนที่อยู่ใต้ตำแหน่งใบเลี้ยงลงมาเมื่อเจริญเติบโตต่อไปส่วนนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของลำต้น

4) แรดิเคิล (Radicle) ส่วนนี้อยู่ถัดจากส่วนของลำต้น คือ อยู่ใต้ไฮโปคอติลลงมาต่อไปจะเจริญไปเป็นรากแก้ว ซึ่งในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมีรากแก้วอยู่ในช่วงระยะเวลานั้นๆ หลังจากนั้นจะเป็นรากฝอย ซึ่งต่างจากพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีรากแก้วอยู่ตลอด สำหรับในเมล็ดพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเมื่อผ่าดูจะพบเยื่อหุ้มแรดิเคิล (Coleorhiza) กับเยื่อหุ้มเอพิคอติล (Coleoptil) เป็นส่วนป้องกันอันตรายแก่ส่วนที่หุ้มเอาไว้ มีบางรายงานกล่าวถึงส่วนทั้งสองนี้ คือ ส่วนของใบเลี้ยงอีกใบหนึ่งของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งตำแหน่งและหน้าที่ รวมทั้งใบเลี้ยงอีกใบหนึ่งที่เหลือนั้นมักจะเรียกชื่อใหม่ว่า สคิวเทลลัม (Scutellum) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 โครงสร้างของเมล็ดถั่วเมื่อผ่าซีก

ที่มา: <http://www.umass.edu>

2.1.5 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วพุ่ม

ถั่วพุ่มถือว่าเป็นถั่วที่มีคุณค่าทางอาหารและโภชนาการสูงประกอบด้วยวิตามินและสารอาหารหลายชนิด ถือว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญที่ร่างกายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คุณค่าทางโภชนาการของถั่วพุ่ม ดังแสดงในตาราง 2.1 ดังนี้

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วพุ่ม

สารอาหาร	ปริมาณ (%)
โปรตีน	24.8
ไขมัน	1.9
เส้นใยอาหาร	6.3
คาร์โบไฮเดรต	63.6
ไนอะซิน	0.00281
ไทอะมิน	0.00074
ไรโบฟลาวิน	0.00042

ที่มา : Kabas et al., (2007)

2.1.6 การเพาะปลูกและการเจริญเติบโต

ถั่วพุ่มเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ดีในที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำจนถึงค่อนข้างแห้งแล้ง (ปริมาณน้ำฝน 250 – 1,000 มิลลิเมตร/ปี) ทนต่อสภาพแห้งแล้งและอุณหภูมิสูง ซึ่งปกติจะปลูกในที่มีระดับสูงกว่าน้ำทะเล

ในประเทศไทย สามารถปลูกถั่วพุ่มได้ทั้งในสภาพไร่และสภาพนา (หลังเก็บเกี่ยวข้าว) จัดเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้เอนกประสงค์ ใช้บริโภคทั้งในรูปฝักสดและเมล็ดแห้ง เมล็ดถั่วพุ่มมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 50-67 % และโปรตีน 23-25 % (Bressani, 1985) สามารถใช้ทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ได้ ส่วนต้นและใบของถั่วพุ่มหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว จะยังคงมีสีเขียวสด และมีโปรตีนค่อนข้างสูง สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง (เมธา, 2529) หรือใช้ไกลบเป็นปุ๋ยพืชสดบำรุงดิน จะให้ธาตุไนโตรเจนประมาณ 6-13 กิโลกรัม/ไร่ (Tarawali et al., 1997) ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับพืชที่ปลูกตามถั่วพุ่มถั่วพุ่มเป็นพืชที่มีการปลูกอยู่เกือบทุกภาคของประเทศไทย โดยปลูกมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีทั้งพันธุ์ที่ใช้เพื่อบริโภคฝักสดและเมล็ดแห้ง ถั่วพุ่มใช้เมล็ดมีหลายสี แต่เมล็ดสีดำเป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด และขายได้ราคาดี (25-30 บาท/กิโลกรัม) ซึ่งถั่วพุ่มใช้เมล็ดที่เกษตรกรปลูกโดยทั่วไป เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่ให้ผลผลิตต่ำและอ่อนแอต่อโรคใบไหม้ (bacterial leaf blight) ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* ดังนั้น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร โดยศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี จึงได้ปรับปรุงพันธุ์ถั่วพุ่มเมล็ดดำเพื่อให้ได้พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และต้านทานต่อโรคใบไหม้ สำหรับแนะนำให้เกษตรกรปลูกทดแทนพันธุ์พื้นเมืองต่อไป

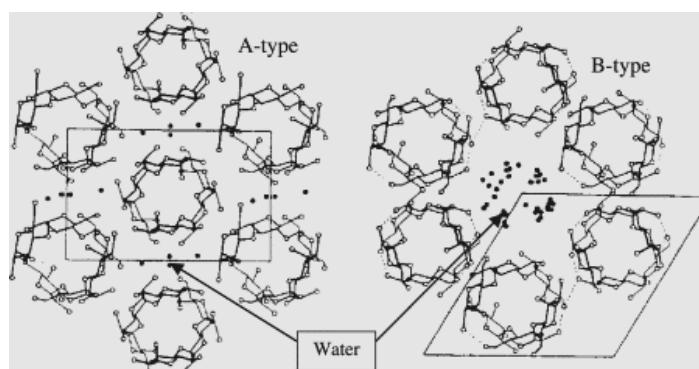
2.2 แป้ง (Starch)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารของทุกชนชาติส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น ถึงแม้ว่าบทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร นอกจากนี้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้วยังมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมกาว เป็นต้น

คำว่า แป้ง ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ และมีสิ่งเจือปนอื่นน้อยมาก แป้งโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นอยู่มาก เรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพด แต่ถ้าเป็นแป้งที่ไม่มีสิ่งเจือปน เป็นแป้งที่บริสุทธิ์จะเรียกว่าแป้งสตาร์ช (Starch) เช่น corn starch และ Wheat Starch เป็นต้น

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของเม็ดแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope ; SEM) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 โครงสร้างของเมล็ดแป้ง

ที่มา: <http://www.swu141km.swu.ac.th>

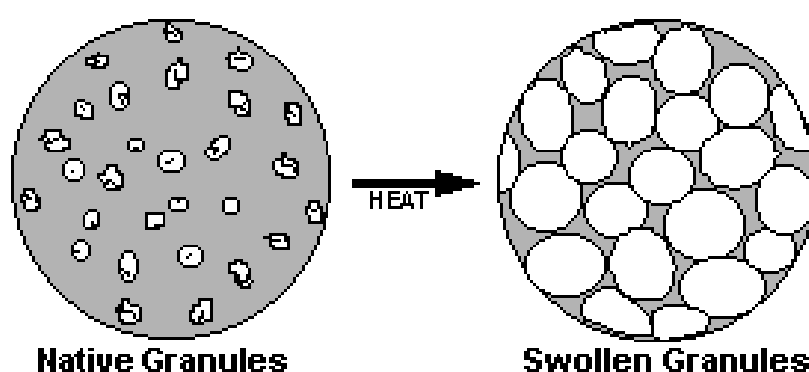
การส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จึงเป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายสุด ในการศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวน เรียกว่า Growth Ring ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ หรือ Scanning Electron Microscopy เม็ดแป้งขนาดใหญ่ที่เปียกและสดจะสังเกตเห็น Growth Ring

ได้ง่าย เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้นพุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็น growth ring ได้ชัดเจน สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็กและแห้งจะไม่พบ Growth Ring เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวเจ้า จะสังเกตได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่าน ปฏิกริยาเคมีหรือ ย่อยด้วยเอนไซม์และศึกษาด้วย SEM โครงสร้างของ Growth Ring แสดงถึงลักษณะการเจริญของเม็ด แป้งโดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญมาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (Hilum) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วยส่วน Reducing End ของโมเลกุลแป้ง มีด้าน Non-Reducing End ของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินแผ่ กระจายออกไป (Oates., 1997) จุดเชื่อมกิ่ง (Branch Point) ของอะไมโลเพคตินอยู่ในส่วนออสันฐาน และสายอยู่ในส่วนผลึก

2.2.2 คุณสมบัติของแป้ง

2.2.2.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and Solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมาก จนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน Crystalline โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการ กระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ Amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกริยาการรับน้ำ (Hydration) ได้บ้างแม้ใน น้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไปส่วน Amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน Crystalline เริ่มคลายความ หนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น โมเลกุลในส่วน Crystalline ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle Network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ด แป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจาย ตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน Crystalline ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออก ทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6



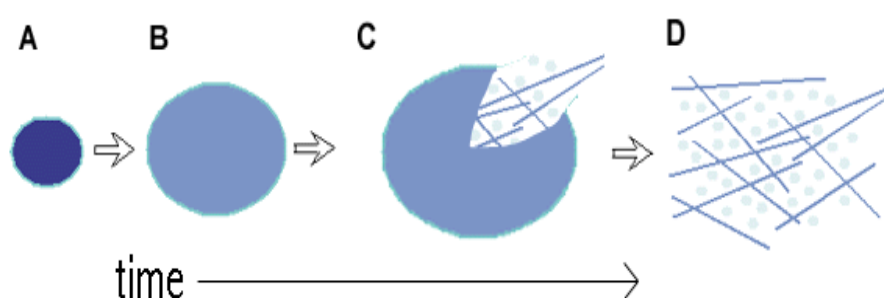
ภาพประกอบ 2.6 การพองตัวของเม็ดแป้ง

ที่มา: [http:// www.opta-food.com/ access/starch2.html](http://www.opta-food.com/access/starch2.html)

2.2.2.2 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

1) กลไกการเกิดเจลาตินในเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก (Collison, 1968) สังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาหร่ายในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ในส่วนที่เป็น Crystalline จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรง จึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่ม ไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 60-75 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี เช่น ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส แก่แป้งสาหร่ายจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน Crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยารับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้ง ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (Maltese Cross) ภายใน เม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน Crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (Degree of Association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ที่ห่างกันถึง 8-10 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก (Morrison and Laignelet, 1983 ; Collison, 1968) แต่เมื่อใช้ SEM ส่องดูโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณ 30% พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน (Goering et al., 1960) แป้งอาจเกิด เจลาติไนซ์เซชัน ได้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการละลายในตัวทำละลาย เช่น alkali, liquid ammonia, DMSO, CaCl_2 ดังแสดงในภาพประกอบ 2.7



ภาพประกอบ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน
ที่มา: <http://www.engin.umich.edu/potato/starch3.htm>

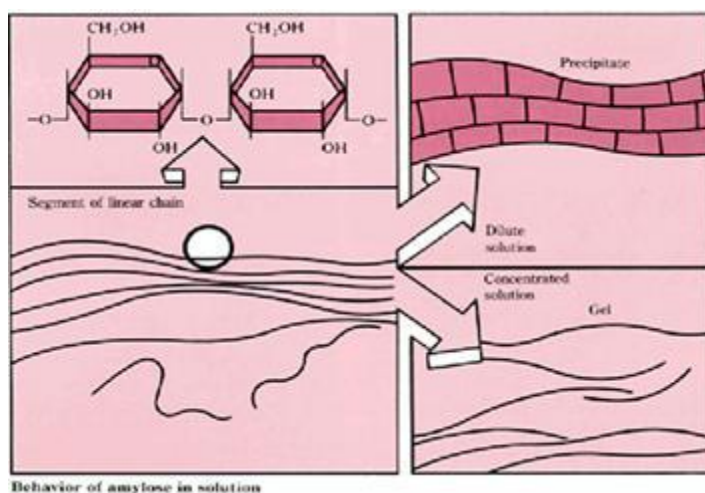
2) การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง

การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง วิธีที่ง่ายและแม่นยำ คือ วัดอุณหภูมิที่เม็ดแป้งสูญเสียเครื่องหมายกากบาทเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler (Kofler Hot Stage Microscope) ซึ่งเป็นกล้อง

จุลทรรศน์ที่มีระบบการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำแป้งบนแผ่นสไลด์อย่างต่อเนื่องในอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อมองผ่านแสงโพลาไรซ์ พบว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงที่เห็นคือ เม็ดแป้งประมาณ 2% เริ่มพองตัวและสูญเสียเครื่องหมายกากบาท ที่จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาตินในเซชัน (Initial of Gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายกากบาทไป 50% จะเรียกเป็นจุดกลางของ เจลาตินในเซชัน (Midpoint of Gelatinization) และเมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายไปประมาณ 98% จะเรียกเป็นจุดสุดท้ายของเจลาตินในเซชัน (Final of Gelatinization หรือ Completion Point) (Schoch and Maywald, 1956 ; Watson, 1964) ดังนั้นส่วนใหญ่มักแสดงช่วงอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของแป้งเป็นตัวเลขชุด แต่ถ้าวัดเป็นอุณหภูมิเดียวมักเป็นจุดสุดท้ายของเจลาตินในเซชันหรือที่เรียกกันว่า Birefringence End Point Temperature (BEPT)

2.2.2.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุก เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray Diffraction (Collison, 1968) ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม ดังแสดงในภาพประกอบ 2.8



ภาพประกอบ 2.8 การคืนตัวของแป้ง

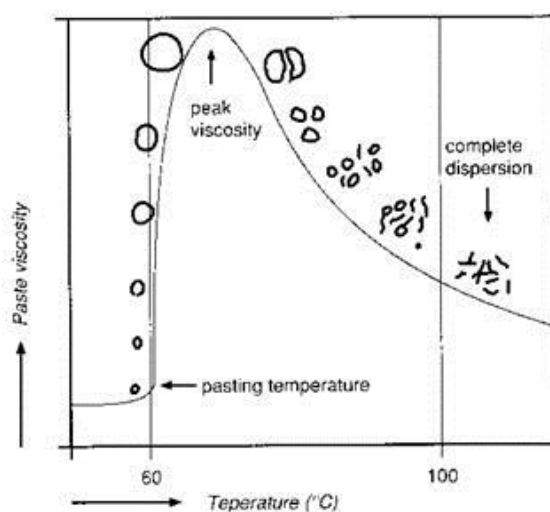
ที่มา: <http://www.nationalstarch.com>

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็น ที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากราก/หัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้งยากที่โมเลกุล

อะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แบ่งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงต่ำลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะเกาะ ยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสูงด้วย โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยาก

2.2.2.4 การวัดคุณสมบัติด้านความหนืด (Viscosity) ของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า Pasting Temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงที่สุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมา มีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสูงจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9

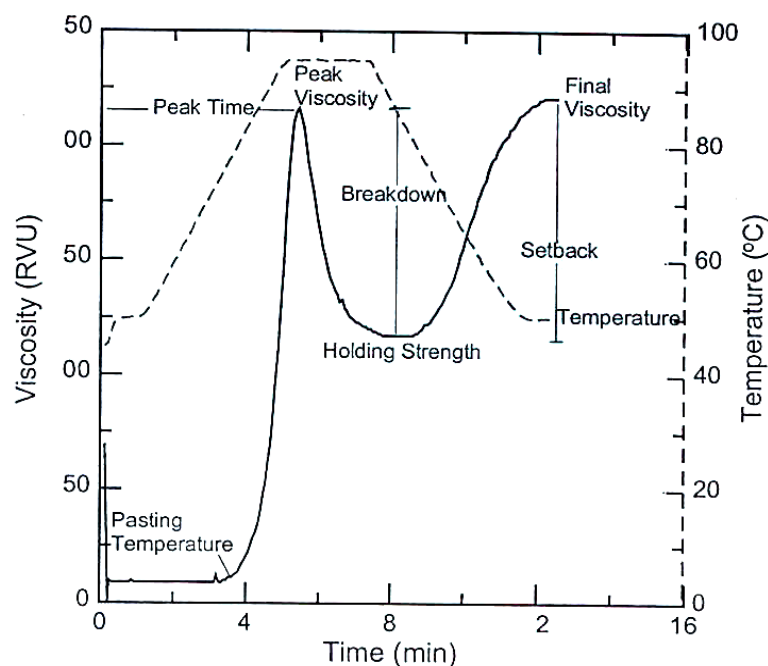


ภาพประกอบ 2.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน
ที่มา : <http://www.ftns.wau.nl/agridata/starchpackfoam.htm>

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นมานี้เรียกว่า Setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน อุณหภูมิ Shear Rate เป็นต้น แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง

การติดตามความหนืดของน้ำแป้งสุก (Paste) มีหลายวิธี การเลือกเครื่องมือได้นั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด คือ เครื่อง Brabender Amylograph ซึ่งติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งตลอดช่วงการให้ความร้อนและการทำให้เย็นลง โดยแสดงผลในรูปแบบของความหนืดที่เปลี่ยนไปกับเวลา

เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) เป็นเครื่องวิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีหลักการวัดค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเครื่องทำให้ส่วนผสมของตัวอย่างกับน้ำได้รับความร้อนจนเกิดความหนืด ในขณะที่ร้อนขึ้นด้วยอัตราระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงอุณหภูมิสูงสุด (โดยทั่วไปจะประมาณ 95 องศาเซลเซียส) ต่อไปก็จะคงอุณหภูมิที่สูงสุดนี้ไว้ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อวัดความคงทนของความหนืดต่อแรงเฉือนของเครื่อง และต่อมาจึงตรวจสอบค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเครื่องทำให้ส่วนผสมเย็นลงในอัตราระหว่าง เวลาและอุณหภูมิที่ลดลง (โดยทั่วไปจะประมาณ 50 องศาเซลเซียส) ความเปลี่ยนแปลงของความหนืดทั้ง 3 ระยะ เป็นผลของลักษณะทางเคมีกายภาพของตัวอย่างที่ปรากฏเป็นความหนืดนั่นเอง สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งซึ่งแสดงด้วยกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA แสดงดังภาพประกอบ 2.10



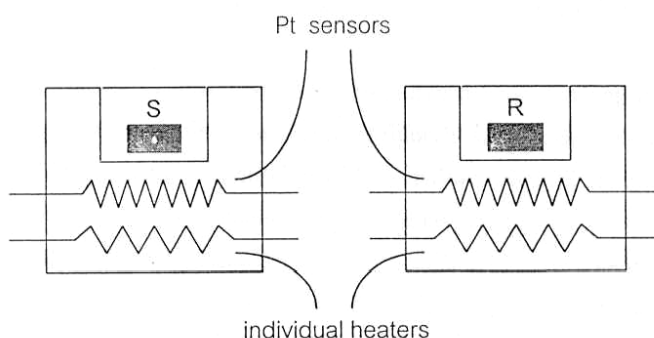
ภาพประกอบ 2.10 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
ที่มา: ศรีรอด และคณะ (2543)

ผลที่อ่านได้จากการวิเคราะห์เส้นกราฟมีดังนี้

1. Peak Time = เวลาที่เกิด Peak ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาทีย
2. Peak Viscosity = ความสามารถในการพองตัวของแป้งเมื่อสุก (ความหนืดทำให้เกิดค่า Peak) มีหน่วยเป็น RVU (Rapid Visco Unit)
3. Pasting Temperature = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVA ใน 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
4. Peak Temperature = อุณหภูมิที่เกิด Peak มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
5. Holding Strength = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น มีหน่วยเป็น RVU
6. Breakdown = ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดของ Peak (Peak Viscosity) และความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU
7. Final Viscosity = ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU
8. Setback from Peak = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด Peak มีหน่วยเป็น RVU
9. Setback from Trough = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

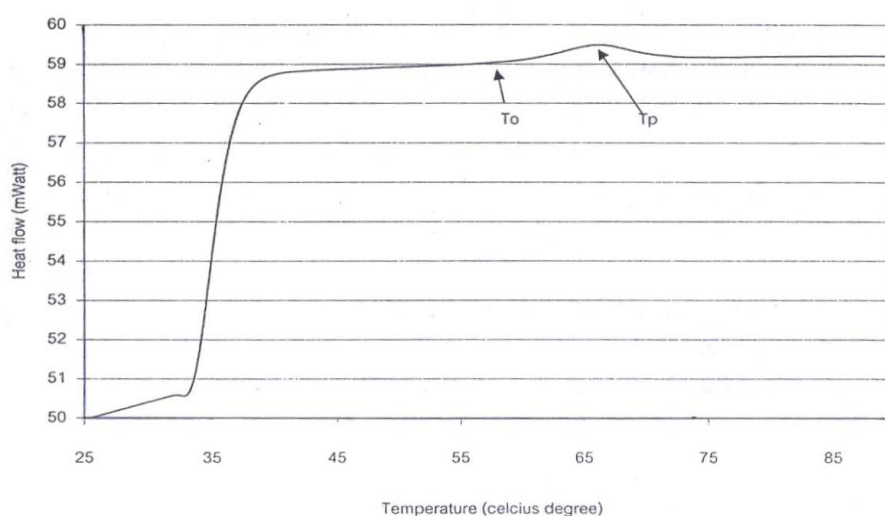
2.2.2.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งด้วยเครื่อง DSC

การตรวจสอบกระบวนการเจลลิตาในเซชัน นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนโครงสร้าง Birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เช่น Kofler Gelatinization Temperature Range แล้วสามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันนี้คือเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยอาศัยหลักการที่ว่าทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องคงอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกับในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงที่อัตราที่กำหนดไว้ก่อนค่าหนึ่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.11 ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบไม่ว่าที่ตัวอย่างหรือสารอ้างอิงเพื่อที่จะพยายามรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ ($T_s - T_r = 0$) ปริมาณความร้อนดังกล่าวนี้จะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ ขดลวดความร้อนเป็นแหล่งงานเพียงชนิดเดียวของพลังงานความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิง (ระหว่างวงจรการให้ความร้อน) เพื่อรักษาอุณหภูมิระหว่างตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลัง (Power) ซึ่งป้อนให้กับตัวให้ความร้อน (Heater) ทั้งสองจะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิเพื่อที่อุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องสามารถทำการวัดได้



ภาพประกอบ 2.11 หลักการของการวัดด้วยเครื่อง DSC
ที่มา: ศรีรอต และคณะ (2543)

ปกติเครื่อง DSC จะวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุ พอลิเมอร์ต่าง ๆ ในรูปผลึกและอสัณฐาน จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แบ่งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่าการหลอมละลายก็คือการเกิดเจลลาทีในเซชัน ช่วงอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (Onset Temperature) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Peak Temperature) ของความร้อน คือ ช่วงอุณหภูมิของเจลลาทีในเซชันเฉยๆนั่นเอง สำหรับการวัดลักษณะของการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC จึงทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำในอัตรา 30/70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลลาทีในเซชัน จะได้ Thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง Heat flow และ อุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีในเซชัน (ΔH , J/g) ได้จากพื้นที่ใต้ กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง ตัวอย่างกราฟที่ได้จากเครื่อง DSC แสดงได้ดังภาพประกอบ 2.12



ภาพประกอบ 2.12 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC
ที่มา: ศรีรอต และคณะ (2543)

2.3 แป้งที่ทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

แป้งที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant Starch ; RS) หมายถึง แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารและไม่สามารถดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ได้ แป้งที่ทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติแต่เป็นส่วนน้อย โดยเม็ดแป้งจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในร่างแหของโปรตีน หรือถูกตรึงอยู่ภายในเซลล์หุ้มเมล็ดพืช ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในเม็ดแป้งได้ ส่วนใหญ่แป้งที่ทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ จะได้จากการดัดแปรแป้งโดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

2.3.1 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง โดยการให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง เพื่อทำให้แป้งสุก แล้วทิ้งให้น้ำแป้งเย็นตัวลง โมเลกุลของแป้งที่ละลายออกมาจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ได้เป็นผลึกแป้งที่แข็งแรงและสามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์น้อยลง อาจทำการย่อยส่วนของโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึกอีกด้วยเอนไซม์หรือกรด เพื่อลดปริมาณการย่อยของเอนไซม์ นิยมใช้กับแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง

2.3.2 การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้งเพื่อช่วยเพิ่มอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชัน เช่น การใช้เอนไซม์ α -amylase เพื่อลดขนาดโมเลกุลของแป้ง ได้เป็นมอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) ชนิดที่มีระดับการย่อยต่ำ การใช้เอนไซม์ตัดพันธะกิ่ง (Debranching) เป็นต้น เป็นการเพิ่มศักยภาพในการเตรียม resistant starch จากแป้งชนิดอื่นที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ

2.3.3 การใช้กระบวนการความร้อนชื้น (Heat-Moisture Treatment) เป็นการเตรียมแป้งที่ทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของเม็ดแป้งที่ยังไม่ผ่านการทำให้สุกและมีความชื้นประมาณ 20 ถึง 45% นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ถึง 120 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1 ถึง 4 ชั่วโมง มีผลทำให้เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงและจัดเรียงโครงสร้างภายในที่ทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ได้มากขึ้น

2.3.4 การใช้สารเคมีในการทำแป้งดัดแปร เช่น Acetylated แป้ง Hydroxypropylated และแป้ง Cross-linked เป็นต้น

เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญของ Resistant Starch คือไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก ดังนั้น Resistant Starch จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเส้นใยอาหาร (Dietary Fiber) ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบการขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือด โดย Resistant Starch ที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก จะผ่านมาถึงส่วนของลำไส้ใหญ่ และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ภายในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ เช่น แอซีเตท (Acetate) โพรพิโอเนท (Propionate) และบิวไทเรท (Butyrate) และมีก๊าซเกิดรวมออกมาด้วย กรดไขมันทั้งสามชนิดที่เกิดจะมีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดของ Resistant Starch และสามารถถูกดูดซึมภายในลำไส้ใหญ่และขนส่งไปถึงตับได้ กรดไขมันที่เกิดขึ้นจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic Microorganisms) เพิ่มปริมาณของเหลวและปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในลำไส้ใหญ่ให้ต่ำลง Butyrate ที่สร้างขึ้นจะช่วยปรับสภาพตอนปลายของลำไส้ใหญ่ให้สมบูรณ์ ยับยั้งการเจริญของเซลล์ที่ผิดปกติ (Transformed Cell) ในสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะมีบทบาทในการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในอาหารที่บริโภคเข้าไป จะทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้ดีขึ้น โดยช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระ เพิ่มความถี่ในการขับถ่าย และลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคท้องผูก โรคผนังลำไส้ใหญ่อักเสบและมะเร็งในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้การบริโภค Resistant Starch หรือเส้นใยอาหาร จะช่วยป้องกันหรือลดภาวะโรคอ้วน และมี

บทบาทในการลดปริมาณคลอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวานอีกด้วย (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

2.4 การประยุกต์ใช้

2.4.1 การประยุกต์ใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหาร

การใช้ประโยชน์ของแป้งในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ทั่วโลก พบว่าใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปมากที่สุด (30%) รองลงมาคือผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำเป็นผง (25%) สำหรับอาหารเด็กอ่อน ขนมอบและขนมอบหวานมีปริมาณเท่ากัน คือ 10% ทั้ง 3 ชนิด ส่วนที่เหลือเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ประเภทที่ผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทราดและผลิตภัณฑ์นมอีกอย่างละ 5% แนวโน้มในการใช้แป้ง และแป้งดัดแปรในอนาคตจะเพิ่มมากขึ้น โดยผู้บริโภคจะคำนึงถึงประโยชน์ทางสุขภาพ และลักษณะปรากฏมากขึ้น ดังนั้น ผู้ผลิตจึงต้องพยายามปรับปรุงคุณลักษณะของแป้ง ทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางหน้าที่ เช่น การปรับปรุงคุณภาพแป้งโดยใช้ความร้อนชนิด UHT (อุณหภูมิแบบ Ultra High Temperature) คืออุณหภูมิสูงมากที่ 140-142 องศาเซลเซียส และใช้เวลาสั้นเพียง 5-6 วินาที เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งดัดแปร ในส่วนผสมคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหารไว้ได้ การใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหารมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

2.4.2 การประยุกต์ใช้แป้งในอุตสาหกรรมอื่นๆ

สำหรับการใช้ประโยชน์จากแป้งในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารมีมากมาย นับตั้งแต่การใช้ใน อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเส้นใยผ้า เป็นสารจับฝุ่นละอองในการผลิตถ่านหิน เซรามิก และโลหะต่างๆ ใช้เป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์สารโพลีเมอร์เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก เป็นกาวในอุตสาหกรรมทอพรหม ใช้เคลือบกระดาษ การใช้แป้งในลักษณะเป็นสารย่อยสลายทางชีวภาพ ความพยายามในการผลิตผลิตภัณฑ์จากแป้งให้คล้ายพลาสติก ซึ่งทนความร้อนได้เพื่อใช้ทำเป็น ภาชนะบรรจุ การใช้แป้งในเครื่องสำอาง เช่น แชมพู และครีมนวดผม การใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น เป็นส่วนผสมเม็ดยา เป็นต้น การใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอนในอุตสาหกรรมหมัก เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ สำหรับแนวโน้มในการใช้ประโยชน์ของแป้งในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารนี้เน้นในด้านที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมมากขึ้น เช่น การใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก เครื่องสำอาง ยา อุตสาหกรรมหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาชนะบรรจุที่สลายตัวได้เอง

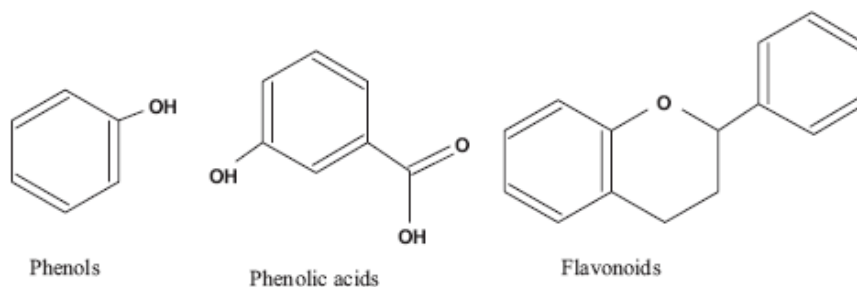
2.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในถั่ว

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในถั่ว สามารถศึกษาได้ในส่วนของเปลือกถั่ว (Seed Coat) จากการที่เปลือกถั่วที่มีลักษณะของสีที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่างกัน เช่น ลักษณะของเปลือกที่มีสีดำ โดยส่วนใหญ่จะพบสารแอนโทไซยานินที่เป็นส่วนประกอบ หรือแม้แต่สารประกอบในกลุ่มใหญ่ที่พบ เช่น สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น

2.5.1 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compound)

เป็นอนุพันธ์ของเบนซินที่มีหมู่ไฮดรอกซิลต่ออยู่เป็นหลัก และอาจมีหมู่แทนที่ต่างๆ

แทนที่ในตำแหน่ง ออโท (Orto) เมตา (Meta) หรือพารา (Para) ได้อีก สารฟีนอลิกตัวพื้นฐาน คือ ฟีนอล (Phenol) ประกอบด้วย วงแหวนเบนซีน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่



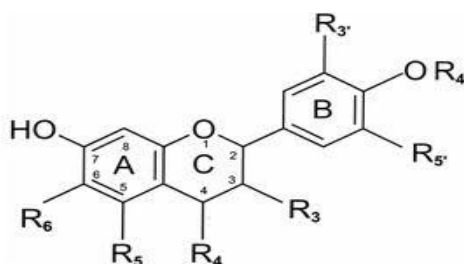
Structures of common phenolic compounds.

ภาพประกอบ 2.13 โครงสร้างและรูปแบบทั่วไปของ Phenolic compound ในอาหาร
ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/2585>

สารประกอบฟีนอลิกหลายตัวมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) และยับยั้งปฏิกิริยา ออกซิเดชัน โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (Free Radical) ทาหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาถูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระก็ถูกทำลายไปด้วย สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดสามารถนำมาใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืนป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipidoxidation) เช่น BHT, BHA, TBHQ

2.5.2 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

ฟลาโวนอยด์เป็นสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติประเภทหนึ่งที่มีพบได้ทั่วไปในอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืช เช่น ผัก และผลไม้ ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างหลัก ลาโวนตรงนิวเคลียส มีสูตรโมเลกุล คือ C₁₅ (C₆-C₃-C₆) โดยมีวงแหวน A และ B (Phenyl Ring) จับกับไพแรนหรือไพโรน (C) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ Ring C ทำให้มีการแยกฟลาโวนอยด์ออกเป็นกลุ่มต่างๆ และการเกิด Hydroxylation ที่ Ring A และ B ทำให้เกิดอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ชนิดนั้นๆ (Pietta., 2000) โครงสร้างของฟลาโวนอยด์ทั่วไปที่พบได้แก่ 3-Deoxyflavonoids (Flavones, Flavanones, Isoflavones และ Neoflavones) และ 3-Hydroxyflavonoids (Flavonols, Anthocynins, Flavan-3,4-Diols และ Flavan-3-ols) เป็นต้น โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันทำให้มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกันด้วย (Panilaitis., 2003) ในธรรมชาติฟลาโวนอยด์มีมากกว่า 4,000 ชนิด ส่วนใหญ่อยู่ในรูปกลัยโคไซด์ ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลหนึ่งหมู่หรือมากกว่า ในโมเลกุลของฟลาโวนอยด์จะจับอยู่กับน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส (Glucose) แรมโนส (Rhamnose) อะราบิโนส (Arabinose) และไซโลส (Xylose)



ภาพประกอบ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอลส์ (Kaempferol, R1=H, R2=H; Quercetin, R1=OH, R2=H; myricetin, R1=OH, R2=OH)
ที่มา: Pietta., (2000)

ตารางที่ 2.2 สารฟีนอลิกกลุ่มหลักที่พบในพืช

จำนวนคาร์บอนอะตอม	โครงสร้างหลัก	กลุ่มสารฟีนอลิกส์
6	C ₆	Simple phenols, Benzoquinones
7	C ₆ -C ₁	Phenolic acids
8	C ₆ -C ₂	Acetophenones, Tyrosine derivatives, Phenylacetic acids Hydroxycinnamic acids, Phenylpropenes, Coumarins
9	C ₆ -C ₃	Isocoumarins, Chromones
10	C ₆ -C ₄	Naphthoquinones
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xanthones
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbenes, Anthraquinones
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoids, Isoflavonoids
18	(C ₆ -C ₃) ₂	Lignans
30	(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂	Biflavonoids
N	(C ₆ -C ₃) _n	Lignins
	(C ₆) _n	Catechol
	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	Flavolans (Condensed Tannins)

ที่มา : วงศ์รัตนาสถิตย์ และคณะ (2534)

ฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ Oxidation State ของ 3-Carbon Chain เนื่องจากการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (OH) บนวงไพแรน ฟลาโวนอยด์อาจแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 12 กลุ่ม ดังนี้

2.5.2.1 ฟลาโวนส์ (Flavones) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น Chrysin, Apegenin และ Lutiolin

2.5.2.2 ไอโซฟลาโวนส์ (Isoflavones) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น Genistin

2.5.2.3 ฟลาโวนอลส์ (Flavonols) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น Quercetin, Kaempferol และ Myricetin

2.5.2.4 ฟลาวาโนนส์ (Flavanones) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น Hesperetin, Butin และ Naringenin

2.5.2.5 ฟลาวาโนนอลส์ (Flavanonols) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น Taxifolin

2.5.2.6 ลิวโคแอนโทไซยานินส์ (Leucoanthocyanins)

2.5.2.7 แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น Cyanidin

2.5.2.8 คาทีชินส์ (Catechins)

2.5.2.9 ชาลโคนส์ (Chalcones)

2.5.2.10 ไดไฮโดรชาลโคนส์ (Dihydrochalcones)

2.5.2.11 ออโรนส์ (Aurones)

2.5.2.12 แซนโทนส์ (Xanthones)

สารประกอบ flavonoid อาจเรียกได้ว่าเป็นสาร Nutraceutical ซึ่งหมายถึง อาหารหรือองค์ประกอบของอาหารที่สามารถนำมาใช้เป็นยาหรือมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทั้งในด้านการป้องกันและการรักษาโรค โดยมีประโยชน์ดังนี้ คือ

1) สาร Antioxidant พบว่ากลุ่มของสารประกอบ Flavonoid ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สาร Flavone และ Catechin สามารถช่วยป้องกันการถูกทำลายของเซลล์และเนื้อเยื่อร่างกายจากอนุมูลอิสระและออกซิเจนอิสระ (Reactive Oxygen Species, ROS) ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของสารประกอบ Flavonoid แสดงได้ดังนี้ Myricetin > Quercetin > Rhamnetin > Morin > Diosmetin > Naringenin > Apigenin > Catechin > 5,7-dihydroxy -3 ,4 ,5 – Trimethoxy - Flavone > Robinin > Kaempferol > Flavone

2) สาร antimicrobial เช่น สาร Quercetin มีคุณสมบัติเป็น Antibacterial สาร Nobiletin, Langeritin และ Hesperidin มีคุณสมบัติเป็น antifungal

3) สาร Antiviral เช่น สาร Quercetin, Morin, Rutin, Dihydroquercetin, Apigenin, Catechin และ Hesperidine ช่วยในการต้านทานไวรัสได้ 11 ชนิด

4) สาร Anti-inflammatory เช่น สาร Kaempferol, Quercetin, Myricetin และ Fisetin

5) สาร Antidiabetic ได้แก่ สาร Quercetin โดยพบว่าช่วยกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน และเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมแคลเซียมที่มีประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2

6) ผลต่อระบบไหลเวียนโลหิต พบว่าการได้รับสาร flavonoid จะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง ภาวะการมีไขมันในเลือดสูงและหลอดเลือดแดงแข็งตัว การแข็งตัวของเลือด

2.5.3 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์กลุ่มย่อยที่สำคัญของสารประกอบฟีนอล แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุ (Pigment) สีเข้มที่พบในผัก ผลไม้ ดอกไม้ ใบ ราก และส่วนต่างๆ ของพืชรวมทั้งธัญพืชหลายชนิด ให้สีหลายเฉดสี เช่น สีฟ้า น้ำเงิน ม่วง แดงเข้ม เป็นต้น โดยละลายอยู่ใน Vacuole Sap ของพืช สามารถละลายน้ำได้แต่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลาย เช่น อีเทอร์ อะซิโตน คลอโรฟอร์ม และเบนซีน เป็นต้น ตัวอย่าง ผัก ผลไม้ ดอกไม้ที่มีแอนโทไซยานิน ดังแสดงในภาพประกอบ 2.15 และตาราง 2.3 ดังนี้



ภาพประกอบ 2.15 ตัวอย่างผัก ผลไม้และธัญพืชที่มีแอนโทไซยานิน
ที่มา: <http://www.google.co.th/images>

ตาราง 2.3 แหล่งของแอนโทไซยานินจากพืช

ตัวอย่าง	ปริมาณ (mg/g)	เอกสารอ้างอิง
Black sorghum brane	4.0 – 9.8	-
Elderberry	2.0 – 10.0	Hansen et al.(1989)
Black raspberrury	1.7 – 4.3	Wang et al.(1997), Torre and Barrit (1997)
Cranberry	0.6 – 2.0	Clifford (2000)
Red grapes	0.3 – 7.5	Bridle and timberlake (1997)
Black currant	0.3 – 4.0	Wang et al.(1997), Clifford (2000)
Red cabbage	0.3 – 0.9	Wang et al.(1997)
Blueberry	0.2 – 0.5	Wang et al.(1997), Clifford (2000)
Stawberry	0.2 – 0.9	Wang et al.(1997), Torre and Barrit (1997)

ที่มา: Awika et al., (2004)

มีการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในธัญพืชบางชนิด พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในธัญพืชแต่ละชนิดมีปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2.4 ดังนี้

ตาราง 2.4 ปริมาณแอนโทไซยานินในธัญพืชบางชนิด

ตัวอย่าง	ปริมาณ (mg/g. fresh wt)	ชนิดแอนโทไซยานิน	เอกสารอ้างอิง
Black sorghum brane	4.0 – 9.8	Apigeninidin,Luteolinidin	(Awika, 2003)
Brow sorghum brane	1.6 – 3.9	Apigeninidin,Luteolinidin	(Awika, 2003)
Red sorghum brane	3.3	Apigeninidin	(Awika, 2003)
Blue wheat brane	0.5	Cyanidin	(Abdel-Aal and Hucl, 2003)
Purple wheat brane	0.2	Cyanidin	(Abdel-Aal and Hucl, 2003)
Black rice grain	0 – 4.9	Cyanidin,Peonidin	(Ryu et al.,1998)
Purple corn	1.6	Cyanidin	(Cisneros-Zevallos, 2003)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Awika and Rooney, (2004)

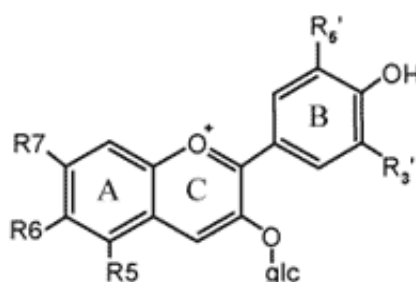
2.5.3.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินมีสูตรโครงสร้างตามภาพที่ 16 การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีและหมู่เมทิลในตำแหน่ง R- ทำให้เกิดแอนโทไซยานินชนิดที่แตกต่างกันไป แอนโทไซยานินพบมากในธรรมชาติในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) ซึ่งจับน้ำตาลด้วยพันธะไกลโคซิดิกหรือเรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidin) มี 6 กลุ่ม คือ Cyanidin, Delphinidin, Malvidin, Pelargonidin, Peonidin และ Petunidin (Mazza and Maniati, 1993)

แอนโทไซยานินมีโครงสร้างของโซ่คาร์บอนเป็น $C_6C_3C_6$ จึงจัดให้อยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับหมู่ที่มาแทนที่ของวงแหวน A และ B แอนโทไซยานินตามธรรมชาติพบในรูปของ Polyhydroxylated และ Methoxylated Heterosides เป็นอนุพันธ์ของ Flavylum Ion หรือ 2 – Phenylbenzopyrylium ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน (benzopyran) 2 วงเชื่อมต่อกับวงแหวนฟีนิล (phenyl ring) 1 วง เนื่องจากโมเลกุลของแอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นอะไกลโคน (aglycone) เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน ซึ่งแยกออกจากกันได้โดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด ในเนื้อเยื่อพืชจะไม่พบ อะไกลโคนอยู่ในรูปอิสระ จะพบเฉพาะที่อยู่ในรูปไกลโคไซด์ คือ รวมตัวกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์เท่านั้น น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของแอนโทไซยานินส่วนใหญ่ที่พบ ได้แก่ กลูโคส กาแลกโตส อะราบินอส ซิโลส ซึ่งเป็น

น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเหล่านี้อาจเกาะกันในลักษณะเป็นได้ทั้ง ได และ ไตรแซคคาไรด์ของน้ำตาลชนิดเดียวกัน (Homogeneous) หรือน้ำตาลต่างชนิดกัน (Heterogeneous) การมี Hydroxyl Groups จากส่วนที่เป็นน้ำตาลอยู่ในวงแหวน ทำให้สารประกอบมีความสามารถละลายน้ำ เอทานอล และเมทานอล ได้ดีส่วนหนึ่งของน้ำตาลจะต่อกับตำแหน่งที่ 3 ของแอนโทไซยานิดิน ในตำแหน่งที่ 5 และ หรือ 7 และส่วนน้อยจะจับกับตำแหน่ง 3' กับ 5' ซึ่งน้ำตาลอาจถูกแทนที่ด้วย Aliphatic, Hydroxybenzoic หรือ Hydroxycinnamicacids ซึ่งส่วนมากจะเป็น Acetic, Malonic, P-Coumaric และ Caffeic Acids โครงสร้างเหล่านี้สัมพันธ์กับความคงตัวของแอนโทไซยานิน เกี่ยวกับการเป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการมีสารที่เข้าทำปฏิกิริยา เนื่องจากการขาดอิเล็กตรอนของ Flavylium Nuclei ความคงตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวน Methoxyls ใน B Ring เพิ่มขึ้นและ Hydroxyls ลดลงดังนั้น แอนโทไซยานิดินที่มีความเสถียรมากที่สุดคือ Malvidin ตามด้วย Peonidin, Petunidin , Cyanidin , Pelargonidin และ Delphinidin

แอนโทไซยานินมีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 510-540 นาโนเมตร สามารถละลายน้ำได้ มีสีช่วงสีแดงถึงสีน้ำเงิน สารละลายแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงสีตามค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เมื่อ pH ต่ำจะมีสีแดง pH ปานกลางจะมีสีน้ำเงิน ม่วง และเมื่อ pH สูงจะมีสีเหลืองซีด (Mazza and Maniati, 1993) แอนโทไซยานินทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามเพื่อใช้ล่อแมลงมาผสมเกสรซึ่งเป็นการช่วยขยายพันธุ์พืช และช่วยป้องกันอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ให้แก่พืชได้ (Harborne, 1986)



ภาพประกอบ 2.16 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานิน
ที่มา: Harborne, (1986)

มีการศึกษาความแตกต่างของแอนโทไซยานินชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีและหมู่เมทิลในตำแหน่ง R- ที่ต่างกัน พบว่า เกิดเป็นสารประกอบแอนโทไซยานินที่ต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2.5 ดังนี้

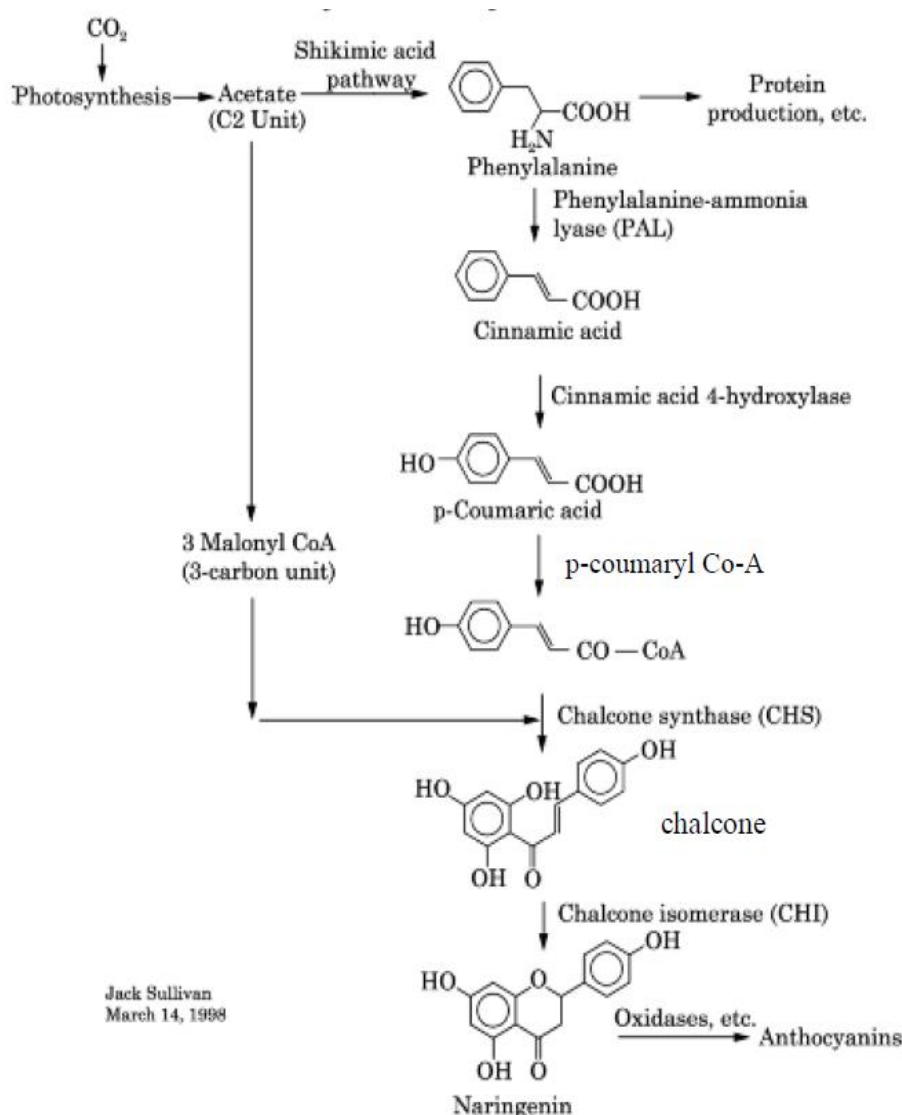
ตาราง 2.5 แอนโทไซยานินชนิดต่างๆที่เกิดจากการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีและหมู่เมทิลในตำแหน่ง R-

Anthocyanidin	R ₁	R ₁	R ₁	R ₁	R ₁	R ₁	R ₁
Cyanidin	-OH	-OH	H	-OH	-OH	H	-OH
Delphinidin	-OH	-OH	-OH	-OH	-OH	H	-OH
Pelargonidin	-OCH ₃	-OH	H	-OH	-OH	H	-OH
Malvidin	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	H	-OH
Peonidin	-OCH ₃	-OH	H	-OH	-OH	H	-OH
Petunidin	-OH	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	H	-OH

ที่มา : ดัดแปลงจาก Harborne, (1986)

2.5.3.2 การสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินมีวิธีการสังเคราะห์เริ่มจาก Acetate (C2 unit) ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเข้าสู่ Shikimic Acid Pathway แล้วเปลี่ยนเป็นสารตั้งต้น คือ กรดอะมิโน Phenylalanine จากนั้น Phenylalanine จะถูกเปลี่ยนเป็น Cinnamic Acid โดยมีเอนไซม์ Phenylalanine Ammonia-Lyase (PAL) เร่งปฏิกิริยา Cinnamic Acid จะถูกเปลี่ยนเป็น P-Coumaric Acid จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น Pcoumaryl Co-A แล้วเปลี่ยนเป็น Chalcone (C15 unit) โดยมีเอนไซม์ Chalcone Synthase (CHS) เร่งปฏิกิริยา จากนั้น Chalcone จะถูกเปลี่ยนเป็น Nariginine โดยมีเอนไซม์ Chalcone Isomerase (CHI) เร่งปฏิกิริยา แล้ว Nariginine จะถูกเปลี่ยนเป็นแอนโทไซยานินต่อไป การสังเคราะห์แอนโทไซยานิน อีกวิธีหนึ่งมาจากการเปลี่ยน Acetate (C2 Unit) ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงไปเป็น Malonyl Co-A (C3 unit) 3 โมเลกุลแล้วเข้าร่วมกับ P-Coumaryl Co-A เพื่อเปลี่ยนเป็น Chalcone โดยมีเอนไซม์ CHS เร่งปฏิกิริยา จากนั้น Chalcone จะถูกเปลี่ยนเป็น Nariginine โดยมีเอนไซม์ CHI เร่งปฏิกิริยา แล้ว Nariginine จะถูกเปลี่ยนเป็นแอนโทไซยานินต่อไป Anthocyanin Biosynthesis pathway ได้แสดงในภาพประกอบ 2.17 ดังนี้



ภาพประกอบ 2.17 วงการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Sullivan, (1998)

2.5.3.3 การสกัดแอนโทไซยานิน

การสกัดแอนโทไซยานินมักทำภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ โดยใช้ตัวทำละลายเมทานอลหรือเอทานอลที่มีปริมาณกรดเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ได้ Flavilium Cation Form ซึ่งมีสีแดงและมีความคงตัวสูงในสารละลายที่มีความเป็นกรด สำหรับการสกัดแอนโทไซยานินเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมักใช้เอทานอลเนื่องจากมีความเป็นพิษน้อยกว่าเมทานอล แม้ว่าประสิทธิภาพการสกัดจะน้อยและยากต่อการกำจัดออกไปในภายหลังก็ตาม (Bailon et al., 2004)

Duangmal et al., (2008) ได้ทำการสกัดสารสีแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง ใช้ตัวทำละลาย 95% เอทานอล : น้ำอัตราส่วนเป็น 1:1 ปรับ pH เป็น 2.5 ด้วยกรด HCl 0.1 โมลใช้อัตราส่วนของตัวอย่างต่อตัวทำละลายเป็น 1:5 เวลาในการสกัด 30 นาที สารสกัดที่ได้ผ่านการกรองแล้วทำแห้งแบบระเหิด

Luiz-Bordignon et al., (2007) ได้ทำการสกัดสารสีแอนโทไซยานินจากผิวองุ่นแดง (*Vitislabrusca* L.) โดยใช้ผิวองุ่นแดง 100 กรัม เขย่าผสมกับ ethanol :1.5 โมล HCl (85:15) 400 มิลลิลิตร ที่ 40 องศาเซลเซียส ผ่านการกรองแล้วทำให้เข้มข้นโดยการระเหยตัวทำละลายออก

2.5.3.4 ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินจัดเป็นสารรงควัตถุที่มีสี สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายวิธี เช่น

1) การใช้เป็นสารสีในอุตสาหกรรมอาหาร

แอนโทไซยานินถูกนำมาใช้เป็นสารให้สี (colorant) ในอาหารมากกว่า 120 ปี แล้วโดยเริ่มแรกถูกนำมาใช้ในไวน์ น้ำผักและผลไม้ต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีส่วนผสมให้สี 26 ชนิด ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ได้ ในอาหาร โดยไม่จำเป็นต้องออกใบรับรองการใช้ โดยในจำนวนนี้จะมีส่วนผสมที่ให้แอนโทไซยานิน 4 ชนิด ได้แก่ สารสกัดจากผิวองุ่น (Grape skin extract) สารสกัดสีองุ่น (Grape color extract) น้ำผลไม้และน้ำผัก (Rosso and Mercadante, 2007) โดยใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำผัก ผลไม้ ผลิตภัณฑ์ผัก และผลไม้แห้งด้วย กลุ่มในประเทศยุโรปจัดสารให้สีที่เป็นอนุพันธ์ของแอนโทไซยานินเป็นสารให้สีธรรมชาติ โดยในแต่ละประเทศจะมีการพิจารณาว่าแอนโทไซยานินจากแหล่งใดผ่านกระบวนการอะไร จึงจะอนุญาตให้ใช้ซึ่งข้อกำหนดของแต่ละประเทศจะแตกต่างกันออกไป (Wrolstad,1995)

2) การใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (Free Radicals) เป็นสาร หรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (Unpair Electron) อยู่รอบนอก เป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) แล้วกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ส่วนมากแล้วเกิดกับโมเลกุลของออกซิเจน เช่น Superoxide Anion radical (O_2^-) Hydroxyl Radical ($HO\cdot$) Peroxide Radical ($ROO\cdot$) Hydrogen Peroxide (H_2O_2) เป็นต้น อนุมูลอิสระเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายมนุษย์ และเกิดจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์จากเครื่องยนต์ควันบุหรี่ สารเคมีต่างๆ รังสี UV และจากการรับประทานอาหารปิ้งย่างที่ไหม้เกรียม ส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า Oxidative Stress ที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ เช่น เซลล์ถูกทำลาย เกิดการเสื่อมของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (Aging) และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อหุ้มเซลล์ รุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรค เช่น โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคกระดูกพรุน โรคเบาหวาน เป็นต้น มนุษย์สามารถป้องกันการทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้โดยใช้เอนไซม์ที่สร้างในร่างกายกำจัด เช่น superoxide Dismutase (SOD) และ Glutathione Peroxidase (GPX) แต่การกำจัดอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์มักมีขีดจำกัด เช่น บางคนมีพันธุกรรมที่สามารถสร้างเอนไซม์ได้น้อย และเพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยรับประทานอาหาร ผัก ผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และแอนโทไซยานิน (จักรพงษ์, 2542)

3) การใช้ประโยชน์ในเชิงสุขภาพ

ประเทศจีนได้นำแอนโทไซยานินที่อยู่ในถั่วเหลืองเปลือกดำมาใช้ในการแพทย์ในกระบวนการล้างพิษลำไส้ ยับยั้งการอักเสบและปรับสมดุลเลือด (Liao et al., 2005) แอนโทไซยานินจากเปลือกถั่วเหลืองเปลือกดำจะเข้าจับกับ Oxygenic Free Radical มีผลช่วยยับยั้งการเกิด Lipid Peroxidation และ DNA Damage (Azevedo et al.,2003) แอนโทไซยานินที่อยู่ใน ถั่วเหลือง

เปลือกดำสามารถป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary Heart Disease) (Colantuoni et al.,1991) และสามารถลดระดับ Cholesterol ในเลือดได้ แอนโทไซยานินมีผลต่อช่วยลดการเกิดโรคเบาหวาน ความเสียหายของ Microvessel จากการที่ระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นสาเหตุแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน การที่โปรตีน Collagen กลายมาเชื่อมกับน้ำตาลเป็นผลมาจากความผิดปกติของ Polymeric Blood Collagen ในประเทศเยอรมันมีการทดสอบให้ผู้ป่วยโรคเบาหวาน 12 คนรับประทานสารแอนโทไซยานิน 600 มิลลิกรัม ทุกวันเป็นเวลา 2 เดือนเมื่อนำเนื้อเยื่อมาตรวจพบว่าสามารถลดความผิดปกติของ Collagen ได้

ดังนั้นถั่ว จึงเป็นพืชที่มีศักยภาพที่การนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย ในส่วนของเปลือกที่นำมาใช้เป็นสารสีในอุตสาหกรรมอาหาร การใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ การใช้ประโยชน์ในเชิงสุขภาพ อื่นๆแล้ว ในส่วนเนื้อเมล็ดที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงยังสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆได้ เช่น เต้าหู้ วุ้นเส้น นํ้านมจากถั่ว และในส่วนผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ แป้งจากถั่วยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมได้ เช่น ขนมสอดไส้ถั่ว คุกกี้จากถั่ว เป็นต้น

2.6 คุกกี้

คุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีขนาดเล็ก แบนและมีรสหวาน มีรูปร่างกลืนและรสต่างๆ กัน คุกกี้ บางชนิดอาจตกแต่งไปด้วยผลไม้และพวก นัท ถั่วต่างๆ บางชนิดตกแต่งหน้าด้วยฟรอสติง คุกกี้สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 2 ประเภท ตามวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการนำไปใช้

2.6.1 การแบ่งประเภทคุกกี้ แบ่งได้ 2 ประเภทดังนี้

2.6.1.1 แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้มี 2 ชนิดคือ

1) คุกกี้เนย (Butter Cookies)

คุกกี้เนยมีสูตรโครงสร้างคล้ายกับเค้ก แต่มีของเหลวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเค้ก เหตุที่ต้องลดของเหลวลงเนื่องจากคุกกี้ต้องมีความแข็งที่จะพอหยอดให้เป็นรูปร่างตามต้องการได้ แบ่งเป็น 3 ชนิด

1.1) คุกกี้เนยชนิดอ่อน คุกกี้ชนิดนี้จะมีปริมาณความชื้นสูงสุด ด้วยเหตุนี้จึงต้องการใช้ในปริมาณที่สูง เพื่อช่วยในการให้โครงสร้างของคุกกี้มากกว่าชนิดอื่นๆ คุกกี้ชนิดนี้เมื่ออบออกมาแล้วจะอ่อนและนุ่ม

1.2) คุกกี้เนยชนิดแข็ง จะต้องลดปริมาณของเหลวในสูตรเพราะต้องการให้คุกกี้แห้งขึ้นในระหว่างการอบ และจะกรอบเมื่ออบเสร็จ

1.3) คุกกี้ร่วน เป็นคุกกี้เนยที่มีปริมาณไขมันสูง ทำให้เนื้อสัมผัสของคุกกี้ร่วนไขมันที่นิยมใช้มาก ได้แก่ เนยสด เพราะให้รสชาติที่ดี

2) คุกกี้ไข่ (Egg Cookies)

คุกกี้ไข่ ต่างจากสูตรของคุกกี้เนยทั้งวิธีการผสมและปริมาณไขมันที่มากกว่า เพื่อช่วยให้อากาศ และเป็นโครงสร้างของคุกกี้ แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

2.1) เมอแรงเชลล์ ทำจากไข่ขาวที่ตีกับน้ำตาลเพื่อเก็บอากาศ โดยตีไข่ขาวให้ขึ้น ฟูนเนื้อเนียนแข็งพอที่จะอุ้มส่วนผสมอื่นๆ ที่ต้องการใช้ในสูตรไว้ได้ แล้วจึงผสมส่วนผสมอื่นๆ

ให้เข้ากันโดยผสมอย่างเบาๆ เพื่อไม่ให้ฟองอากาศสูญหายไป แล้วจึงนำไปอบในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำมากๆ เพื่อให้แห้งและแข็งตัวโดยที่เปลี่ยนสีไม่มากนัก

2.2) มาการูนคุกกี้นั้นส่วนมากทำมาจากแอลมอนต์เพสต์ผสมกับน้ำตาลและไข่ขาวจนเรียบเนียน ส่วนผสมที่แข็งอาจทำให้อ่อนตัวได้โดยนำไปอุ่นหรือ ทำให้ร้อนในหม้อตุ๋นจนอ่อนตัวแล้วจึงหยอดใส่ถาด ส่วนผสมที่แข็งอาจทำให้เป็นรูปต่างๆได้ตามต้องการ โดยมากจะทำเป็นแท่งยาวและโรยด้วยถั่วและผลไม้ต่างๆ

2.3) สเปนจ์คุกกี้นั้นมีวิธีทำและปฏิบัติเช่นเดียวกับสปันจ์เค้ก เพียงแต่คุกกี้นั้นสปันจ์ใช้แป้งในปริมาณที่สูงกว่า วิธีที่ทำคือ ผสมน้ำตาลและไข่ตีจนเป็นฟองหนาหรือจนฟองตั้งยอดแล้วผสมแป้งลงไปจนเข้ากันเบาๆ แล้วจึงหยอดหรือบีบใส่ถาด

2.6.1.2 แบ่งตามการนำไปใช้ มี 4 ชนิดด้วยกัน คือ

1) คุกกี้น้ำตาล (Dropped Cookies)

คุกกี้นี้จะมีรูปร่างไม่คงที่และไม่สม่ำเสมอ มีวิธีการทำง่ายๆ โดยหยอดแป้งผสมลงบนถาด ให้เป็นรูปต่างๆได้ตามต้องการ

2) คุกกี้นม (Roll Cookies)

ทำจากโดที่นำมารีดเป็นแผ่นแล้วตัดด้วยที่ตัดคุกกี้นี้เพื่อทำเป็นรูปร่างต่างๆ หรือนมให้เป็นแท่งแล้วตัดตามขวาง

3) คุกกี้นวด (Pressed Cookies)

คุกกี้นี้เป็นคุกกี้นี้ที่เข้มข้นที่สุด และใช้ในงานเลี้ยงมากที่สุด ทำด้วยเนยแล้วกดผ่านกระบอกกดคุกกี้นี้หรือบีบผ่านหัวบีบให้เป็นรูปร่างๆ ถ้ากดด้วยกระบอกกดคุกกี้นี้ปริมาณของเหลวควรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพื่อให้ส่วนผสมอ่อนตัวและกดง่าย แต่ยังคงรูปร่างอยู่ได้ในระหว่างการอบ

4) คุกกี้น้ำตาล (Bar Cookies)

ทำจากโดที่ค่อนข้างแข็งนำมารีดเป็นเส้นยาวๆ บนถาด ทาด้วยไข่หรือไม่ทาก็ได้ แล้วจึงอบ บางชนิดก็ทาด้วยฟองไข่ขาว แล้วนำมาตัดให้เป็นแท่งหลังจากไข่ขาวที่แห้งดีแล้ว (จินตนา และคณะ, 2539)

2.6.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำคุกกี้นั้น

ส่วนผสมที่ใช้ในการทำคุกกี้นั้น จำแนกได้เป็น 2 พวก เช่นเดียวกับการทำเค้ก คือวัตถุดิบที่เป็นตัวทำให้คุกกี้นี้มีความอ่อนหรือแข็งตัวที่เป็นโครงสร้างพื้นฐาน ได้แก่ แป้ง นอกจากนั้นก็ ได้แก่ น้ำ ไข่ขาวทั้งฟอง ไข่ขาว นมผง โกโก้ผง และกรดที่ทำให้ขึ้นฟู และพวกที่ทำให้คุกกี้นี้มีความอ่อนนุ่ม ได้แก่ น้ำตาล ไซรัป ไข่แดง ไขมันผงฟู แป้ง สดาร์ช น้ำเป็นตัวทำให้คุกกี้นี้แข็งเนื่องจากเกิดกลูเตนขึ้นเมื่อผสมกับแป้ง

2.6.2.1 แป้งโดยปกติใช้แป้งชนิดอ่อนที่มีโปรตีนต่ำ หรือจะใช้แป้งอเนกประสงค์ก็ได้

2.6.2.2 ไขมัน เนื่องจากคุกกี้นี้ที่ทำด้วยไขมันจะต้องตีไขมันให้ฟูขึ้น จึงควรใช้น้ำมันแทนมาการีนหรือน้ำมัน หรือจะใช้ผสมกันก็ได้

2.6.2.3 ไข่ โดยปกติใช้ไข่ทั้งฟอง ซึ่งจะช่วยให้เสริมโครงสร้างของคุกกี้นี้ ไข่แดงจะช่วยสร้างโครงสร้างทั้งความอ่อนนุ่มของคุกกี้นี้ เนื่องจากไข่แดงมีไขมันอยู่ ไข่ขาวช่วยเสริมโครงสร้างเพราะมีโปรตีนอยู่ ทั้งไข่ขาวและไข่แดงก็ช่วยให้โดมีความชุ่มชื้น

2.6.2.4 ของเหลว น้ำเป็นของเหลวที่จำเป็นในการทำให้อลูมิเนียมเกิดขึ้น เป็นโครงร่างของคุกกี้ นอกจากนั้นยังช่วยควบคุมความหนืดของโดอีกด้วย

2.6.2.5 น้ำตาล โดยมากใช้น้ำตาลทรายละเอียดเพื่อให้กระจายทั่วกับส่วนผสมแป้ง การใช้น้ำตาลทรายเม็ดหยาบจะทำให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม และขยายตัวได้มากกว่าน้ำตาลชนิดละเอียด แต่น้ำตาลละเอียดละลายง่าย และช่วยให้โดมีความคงตัวที่ดี

2.6.2.6 สิ่งที่จะช่วยให้ขึ้นฟู ช่วยควบคุมการขยาย หรือควบคุมขนาดของคุกกี้ ทำให้มีปริมาตรและความฟู สำหรับสารที่ใช้ได้แก่ เบกกิ้งโซดา เมื่อใช้เพียงอย่างเดียวจะช่วยให้คุกกี้กระจายตัวดีขึ้น เนื่องจากเบกกิ้งโซดาจะไปทำให้อลูมิเนียมแอ่งอ่อนตัว นอกจากนี้ยังสามารถใช้แอมโมเนียมคาร์บอเนตก็ได้ เช่นเดียวกัน แต่ดีกว่าเบกกิ้งโซดาเนื่องจากกระจายตัวไปทั่วในระหว่างอบ และไม่ทิ้งกลิ่นคาวไว้ในคุกกี้ที่อบสุกแล้ว ซึ่งกลิ่นคาวนี้อาจเกิดขึ้นได้กับเบกกิ้งโซดาถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังสามารถใช้ครีมออฟทาร์ทาร์หรือผงฟูก็ได้

2.6.2.7 ส่วนผสมอื่นๆ เป็นส่วนผสมที่เติมเข้าไปในสูตรเพื่อทำให้สูตรพื้นฐานดีขึ้น เช่น อิมัลซิไฟเออร์ ช่วยทำให้ไขมันกระจายและทำให้ลักษณะโดดีขึ้น นมผงช่วยให้ดูชุ่มชื้นน้ำได้ดีขึ้น ถ้าทำให้เปลือกนอกของคุกกี้สีสวย เปลือกจะช่วยทำให้รสชาติของคุกกี้ดีขึ้น (จินตนา และคณะ, 2539)

2.6.3 ขั้นตอนการทำคุกกี้

2.6.3.1 การผสม วิธีผสมคุกกี้มีหลายวิธี และขั้นตอนของการผสมก็ได้กำหนดให้เหมาะสมกับชนิดของคุกกี้ที่ทำด้วย สำหรับคุกกี้เนย มีวิธีผสมดังนี้

1) วิธีผสมครั้งเดียว(One Stage Method) เป็นการผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน จนได้โดที่ต้องการ อาจแบ่งของเหลวมาส่วนหนึ่งเพื่อละลายสิ่งที่ช่วยให้ฟูขึ้น เกลือ สารให้กลิ่นรสและสี วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและเป็นการผสมครั้งเดียว แต่ก็อาจจะทำให้โดที่ขึ้นขึ้น ซึ่งเมื่อผสมนานเกินไปก็จะทำให้การขยายตัวของคุกกี้ลดลง แต่ก็สามารถแก้ไขให้การขยายตัวของคุกกี้ดีขึ้น โดยแบ่งน้ำตาลส่วนหนึ่งไว้เติมตอนสุดท้าย

2) วิธีครีมเนย (Creaming Method) มีหลายวิธีให้เลือกใช้ดังนี้

2.1) วิธีสองขั้นตอน (Two-Stage Method) เป็นวิธีที่ส่วนผสมทั้งหมดมาตีเข้าด้วยกันให้เป็นครีม ยกเว้นแป้งและกรดที่ช่วยให้ขึ้นฟูซึ่งจะเติมทีหลัง

2.2) วิธีสามขั้นตอน (Three-stage method) เป็นวิธีที่นำไขมันและน้ำตาลมาตีเข้าด้วยกันจนเป็นครีมที่เรียบเนียน แล้วจึงเติมไข่ ของเหลวส่วนหนึ่งเช่น นม น้ำ สารช่วยให้ขึ้นฟู และเกลือลงไปผสม เสร็จแล้วจึงเติมของเหลวที่เหลือลงไป การผสมวิธีนี้ถ้าระยะเวลาในการตีครีมนานเกินไป คุกกี้ก็จะขยายตัวน้อยลง เพราะน้ำตาลจะเป็นเม็ดละเอียดขึ้นและกระจายอยู่ทั่วส่วนผสมยิ่งถ้าใช้เวลาดูผสมนานขึ้น หลังจากตีเติมแป้งลงไปแล้ว โดจะเหนียวขึ้นและคุกกี้จะขยายตัวได้น้อยลง

3) วิธีคนผสม (Blending Method) วิธีนี้ไขมัน น้ำตาล น้ำเชื่อมแป้งและกรดที่ช่วยให้ขึ้นฟูจะถูกผสมเข้าด้วยกันจนได้โดที่ร่วน แล้วจึงเติมน้ำหรือน้ำมันที่มีเกลือหรือโซดาหรือแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตลงไปผสม การผสมวิธีนี้จะเกิดกลูเตนได้น้อย และจะได้คุกกี้ที่มีเนื้อนุ่ม

สิ่งสำคัญที่สุดสำหรับการผสมคุกกี้คือระวังอย่าให้เกิดกลูเตนในโดขึ้น โดยไม่ผสมมากเกินไป เพราะจะทำให้คุกกี้เหนียวและมีการขยายตัวต่ำ อีกประการหนึ่งโดที่ผสมมากเกินไปจะกดกระบอกพิมพ์ หรือบีบจากถุงบีบ หรือปั๊มออกจากเครื่องได้ยาก

สำหรับคุกกี้ไข่ ซึ่งใช้ไข่ขาวกับน้ำตาล จะต้องตีไข่ขาวให้ขึ้นเป็นฟอง และตั้งยอดอ่อน แล้วจึงผสมแป้งลงไป ถ้าตีไข่ขาวนานเกินไปจนไข่ขาวแข็งขึ้น จะผสมยากและคุกกี้ที่ได้จะแข็งอีกด้วย ขนาดของคุกกี้และช่องว่างระหว่างชั้นของคุกกี้เมื่อหยอดลงบนถาดอบ ควรให้มีขนาดที่เท่ากันและมีระยะห่างพอสมควร เพื่อให้คุกกี้ที่อบสุกพร้อมๆ กัน และมีการขยายตัวเต็มที่ในระหว่างการอบควรทาไขมันบางๆ ที่ถาด แต่ทำให้ทั่วถึงถ้าทาไขมันมากหรือน้อยจนเกินไปก็ทำให้คุกกี้ขยายตัวมากและน้อยตามลำดับ

2.6.3.2 การอบ

โดยทั่วไปคุกกี้จะใช้เวลาในการอบสั้น สำหรับคุกกี้ที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำอยู่ในช่วง 35% หรือต่ำกว่านี้ ต้องการอุณหภูมิในการอบสูงกว่าคุกกี้ปกติที่มีปริมาณน้ำตาลสูงกว่า 35% เป็นคุกกี้ที่มีไขมันต่ำ

เมื่อนำคุกกี้เข้าตู้อบ ด้านนอกของโดจะเริ่มสุกจึงเกิดเป็นลักษณะฟิล์มแข็ง หรือมีผิวนอกแข็งขึ้น ความร้อนจากตู้อบจะทำให้ไขมันในโดละลาย และผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้โดขยายตัวและเพิ่มปริมาตรขึ้น ในขณะเดียวกันน้ำในโดก็จะเปลี่ยนเป็นไอ ซึ่งจะดันให้คุกกี้โดขยายตัวต่อไป เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสตาโรจะเปลี่ยนเป็นเจล โปรตีนในแป้ง ไข่ หรือ นม จะแข็งตัว ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงของคุกกี้ ใกล้ช่วงสุดท้ายของการอบ คุกกี้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากปฏิกิริยาของน้ำตาลและโปรตีนในส่วนผสม ทำให้คุกกี้มีสีน้ำตาล กลิ่นหอมและรสชาติ

2.6.3.3 การทำให้เย็น

การทำให้เย็น เมื่อนำคุกกี้ออกจากตู้อบ คุกกี้จะยังร้อนอยู่ อ่อนและมีความชื้นอยู่มากในระหว่างการทำให้เย็นโครงสร้างของคุกกี้จะแข็งขึ้น เมื่อน้ำตาลแข็งตัว และหลังจากนั้นไขมันก็จะแข็งตัวเนื่องจากไอน้ำภายในระเหยไป จนถึงจุดสมดุลระหว่างความชื้นภายในและภายนอกชั้นคุกกี้ เพราะถ้าความชื้นไม่สมดุลก็จะเกิดเป็นรอยเส้นบางๆ คล้ายรอยร้าวที่ผิวด้านบนของคุกกี้ หรือทำให้คุกกี้แตกหักได้ ห้องที่ใช้ทำคุกกี้เย็นต้องมีการควบคุมความชื้นด้วย (จินตนา และคณะ, 2539)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Siddhuraju et al. (2006) ได้ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการเข้าจับกับอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเมล็ดถั่วพุ่ม (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) เมล็ดสีดำและเมล็ดสีน้ำตาล โดยทำการศึกษาหาปริมาณฟีนอลิกรวม และสารแทนนินจากเมล็ดถั่ว จากนั้นนำมาทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS, FRAP, linoleic Acid Emulsion และ β -Carotene-Linoleic Acid จากผลการทดลอง พบว่าที่ความเข้มข้นของสารสกัด 800 ไมโครกรัม มีความสามารถในการเข้าจับกับ Superoxide Anion มากที่สุด คือ 83.6% และ 68.2% ตามลำดับ สารสกัดมีความสามารถในการเป็นตัวยับยั้งอนุมูลอิสระดีที่สุดในช่วง 74.3–84.6% ของ linoleic Acid Emulsion System การใช้ β -Carotene Method จะมีการแสดงผลเพียงเล็กน้อย

Ukhun. (1984) ได้ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในแป้งเมล็ดถั่วพุ่ม (*Vigna Unguiculata*) โดยได้สกัดไขมันจากแป้งถั่วพุ่มก่อนเก็บไว้ที่ค่าความชื้นในอาหาร Water Activities (a_w) ที่ 0.11, 0.33 และ 0.75 ที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

6 เดือน และนำมาหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ พบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบได้แก่ Linoleic, linolenic และ Oleic Acids ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับ และกรดไขมันที่อิ่มตัว ได้แก่ Palmitic, stearic และ Arachidic มีปริมาณลดลงตามลำดับ โดยที่ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีปริมาณสูงกว่ากรดไขมันที่อิ่มตัวและพบว่า อัตราส่วนของกรดไขมันและ lipid conjugated เป็นตัวชี้วัดผลการลดลงของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเก็บตัวอย่างที่ ค่า a_w เท่ากับ 0.33 และเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Adebooye et al. (2007) ศึกษาการปลงการพองตัว การละลายของแป้งถั่วพุ่ม ทั้งสองสายพันธุ์คือสายพันธุ์ C-152 ซึ่งเป็นเมล็ดที่มีสีขาวเมล็ดใหญ่ และพันธุ์ S-1552 ลักษณะเมล็ดสีขาวลายจุดดำ ในประเทศอินเดีย โดยศึกษาในแป้งถั่วพุ่มที่แกะเปลือก (decorticated) และบดทั้งเมล็ด (Whole Grain) พบว่าการปลงการพองตัวของแป้ง (เมล็ดที่ปอกเปลือกและบดรวมทั้งเมล็ด) และสตาร์ชจากถั่วพุ่มทั้งสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) โดยที่ แป้งที่ได้จากการบดทั้งเมล็ดจะมีค่าการปลงการพองตัวสูงกว่า แป้งที่ได้จากการแกะเปลือกออก ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยต่างๆในการบดทั้งเมล็ดอาจช่วยในกระบวนการดูดน้ำหรืออุ้มน้ำ มากกว่าแป้งที่ได้จากเมล็ดที่ทำการแกะเปลือก ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส และค่าการปลงการพองตัวของแป้ง สำหรับตัวอย่างการปลงการพองตัวของแป้งถั่วพุ่มสายพันธุ์ C-152 มีค่าการปลงการพองตัว 15.3 g/g ซึ่งมากกว่าในสายพันธุ์ S-1552 ซึ่งมีค่าการปลงการพองตัวเพียง 11.4 g/g อย่างไรก็ตามพบว่าในสายพันธุ์ C-152 มีปริมาณอะไมโลสที่น้อยกว่าในสายพันธุ์ S-1552 ซึ่งจากรายงานการศึกษาของ Sandhya Rani and Bhattacharaya (1989) พบว่าเมล็ดสตาร์ชที่มี ปริมาณอะไมโลสต่ำ จะมีการปลงการพองตัวสูงเมื่อให้ความร้อน และยังมีรายงานของ Lee and Osman. (1991) ซึ่งรายงานว่า ค่าการปลงการพองตัวของแป้งอาจขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของเม็ดสตาร์ช และพันธะไฮโดรเจน ซึ่งพันธะไฮโดรเจนจะเสถียรภาพในโครงสร้าง double helices ซึ่งอยู่ภายในส่วน crystallinity ของเม็ดสตาร์ช ซึ่งจะถูกทำลายในช่วงกระบวนการเกิดเจลลาที่ในเซชัน และจากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านความหนืด และ Pasting profile ของแป้งถั่วพุ่ม ทั้งสองสายพันธุ์ของ Adebooye et al. (2007) เช่นเดียวกันคือสายพันธุ์ C-152 ซึ่งเป็นเมล็ดที่มีสีขาวเมล็ดใหญ่ และพันธุ์ S-1552 ลักษณะเมล็ดสีขาวลายจุดดำ ในประเทศอินเดีย โดยศึกษาในแป้งถั่วพุ่มเป็นฟลาวร์และเป็นสตาร์ช พบว่าโดยที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลาที่ในเซชันของแป้งทั้งสองสายพันธุ์อยู่ในช่วง 77-78 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากการสูญเสีย birefringence ในชั้น Semicrystalline ของเม็ดแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Agunbiade and Longe. (1999) ที่พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลลาที่ในเซชันจะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง สายพันธุ์ ลักษณะการปลูก เป็นต้น เช่นเดียวกับรายงานวิจัย Villanueva et al. (2006) ซึ่งศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลลาที่ในเซชันในถั่วพุ่มเม็กซิกันพบว่า อุณหภูมิในการเกิดอยู่ในช่วง 73.5 ถึง 86.3 องศาเซลเซียส และ peak temperature เริ่มที่ 79.3 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Sandhu et al., (2004) ที่พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาที่ในเซชันจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง ที่เกิดการแตกตัวซึ่งเป็นสาร Polysaccharide และพบว่าสิ่งเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมของสายพันธุ์ค่าความหนืดสูงสุด Peak Viscosity (PV) ของแป้งทั้งสองสายพันธุ์พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($P < 0.05$) โดยที่สตาร์ชสายพันธุ์ C-152 มีค่าน้อยกว่าสายพันธุ์ S-1552 ซึ่งพบว่าค่าความหนืดสูงสุดที่ได้เป็นสิ่งที่ชี้วัดว่า แป้งชนิดนั้นมีค่าการปลงการพองตัวสูงสุด ซึ่งค่าการปลงการพองตัวจะแสดงถึงพฤติกรรมของแป้ง ที่เกี่ยวข้องกับอะไมโลและอะไมโลเพกตินที่อยู่ภายในเม็ดแป้ง (Schoch and Elder. 1955) ค่าความร้อนเมื่อเกิดความหนืด

Hot Paste Viscosity (HPV) ของแป้งทั้งสองสายพันธุ์ พบว่า ฟลาวร์ในสายพันธุ์ C-152 จะมีค่าสูงถึง 120 BU เมื่อเทียบกับฟลาวร์สายพันธุ์ S-1552 และขณะที่ค่า HPV ของ สตาร์ชสายพันธุ์ S-1552 มีค่าสูงถึง 170 BU ซึ่งมากกว่าสายพันธุ์ C-152 ซึ่งจากรายงานการวิจัยของ Schoch and Maywald., (1968) พบว่า ค่า HPV นั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของลักษณะเม็ดแป้งของแป้ง และขนาดของเม็ดแป้งแต่ละสายพันธุ์ หรืออาจจะเกี่ยวข้องกับ Crystallinity ที่อยู่ในเม็ดแป้ง หรือแม้กระทั่งสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่นโปรตีน ไขมัน ที่อยู่ในเม็ดแป้งเช่นเดียวกัน

ค่าการแตกตัวของเม็ดแป้ง (Break Down Viscosity, BD) พบว่า สตาร์ชของทั้งสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกันโดยจะอยู่ในช่วง 100–120 BU ในขณะที่ 100–120 BU จะอยู่ในช่วง 260–380 BU จากรายงานการวิจัยของ Agunbiade and Longe. (1999) พบว่าขึ้นอยู่กับลักษณะของเม็ดแป้ง

การคืนตัว (Set Back Viscosity, SB) เป็นความแตกต่างระหว่างค่า CPV และ PV เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงลักษณะพฤติกรรมโมเลกุลของเม็ดแป้งหลังจากที่ได้รับความร้อน และการเย็นตัว แป้ง Starches ในทั้งสองสายพันธุ์ จะมีค่า SB ที่อยู่ในช่วง 1620 ถึง 1680 BU การคืนตัวกลับทั้งหมด (Total Set Back, SBT) เป็นการวัดการเกิดรีโทรเกรเดชัน ของโมเลกุลของเม็ดแป้ง พบว่าแป้งทั้งสองสายพันธุ์ มีค่า SBT ที่แตกต่างกัน โดยค่า SBT ของฟลาวร์สายพันธุ์ C-152 จะมีค่ามากกว่า สายพันธุ์ S-1552 คุณสมบัติในการเกิดรีโทรเกรเดชัน เป็นการเกิดเจลโดยตรงของแป้ง โดยจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเม็ดแป้ง ลักษณะการจัดเรียงตัวในชั้นของส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) และ ส่วนที่เป็นของแข็ง (Crystalline)

Abu et al. (2005) ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง และแป้งเปียกของถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata* L. Walp) โดยใช้ Y-irradiation ที่ 2, 10 และ 50 kGy และวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่าเมื่อให้ปริมาณรังสีที่ต่ำ (2 kGy) ความสัมพันธ์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ของแป้งและแป้งเปียกถั่วพุ่ม ไม่มีผลต่อโปรตีน อย่างไรก็ตาม ที่ 10 และ 50 kGy ความสัมพันธ์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ของแป้งและแป้งเปียกถั่วพุ่ม มีผลต่อการดูดซับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ความสามารถในการละลายของ ไนโตรเจน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) การเสถียรภาพของโปรตีนและการรวมตัวของ โปรตีน ตรงกันข้าม ความสามารถในการดูดซึมน้ำมัน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ความสัมพันธ์ของแป้งและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น การละลายน้ำ และสมบัติการเป็นแป้งเปียก พบว่า ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

Phillips. (2003) ได้ศึกษาการนำถั่วพุ่มมาใช้ประโยชน์ในการเป็นอาหารของมนุษย์โดยแป้งที่ได้จากเมล็ดถั่วพุ่มมีการนำมาเติมลงในอาหาร ช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ในประเทศกานามีการนำถั่วพุ่มมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารเข้าซึ่งอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารและในบางประเทศมีการนำถั่วพุ่มมาใช้ในการผลิต Snacks หรือขนมขบเคี้ยวเล่น หรือถั่วพุ่มนี้เองได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการหมักจนได้ผลิตภัณฑ์ เช่น Yogurt, Sour Cream, และ buttermilk (Schaffner and Beuchat, 1986)

Atuobi et al. (2011) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ โครงสร้างทางโมเลกุลของแป้งที่ได้จากเมล็ดถั่วพุ่ม ที่ส่งผลต่อคุณภาพการหุงต้ม รวมทั้งลักษณะทางเนื้อสัมผัส และพฤติกรรมการไหล ของอาหารที่แปรรูปจากถั่วพุ่ม โดยศึกษาในถั่วพุ่ม 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Bengpla, Asetenapa, Asontem และพันธุ์ CR-06-07 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีความคงทนต่อโรค และแมลงที่เป็นศัตรูพืช โดยศึกษา แป้งที่ได้จากถั่วพุ่มคุณสมบัติการเกิดเจล คุณสมบัติด้านความหนืด กำลังและการพองตัว โดยใช้วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ และศึกษาโครงสร้างของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าเม็ดแป้งที่ได้มีลักษณะรูปร่างกลม รีรูปไข่ ซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกันไป พบว่าในสายพันธุ์ Asetenapa จะมีขนาดโมเลกุลของเม็ดแป้ง 1.9 มิลลิเมตร และในขณะที่ สายพันธุ์ Asontem มีขนาด 2.9 มิลลิเมตร พบว่าในสายพันธุ์ Bengpla และ Asetenapa จะมีกำลังการพองตัวของแป้งที่สูงสุด ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ในสายพันธุ์ Asontem จะมีค่าสูงสุดในคุณสมบัติด้านการละลาย แต่จะมีคุณสมบัติการเกิดเจล ที่มีค่าแตกต่างกับสายพันธุ์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) Appiah et al. (2011) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วพุ่ม 3 สายพันธุ์ซึ่งเป็นพันธุ์ท้องถิ่นในประเทศกานา โดยศึกษาสายพันธุ์ Nhyira, Adom และ Tona เพื่อประเมินศักยภาพในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยพบว่าในถั่วที่ทำการศึกษาวิเคราะห์ ใน 100 เมล็ดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาด 7.73-7.67, 4.51-4.86 และ 5.75-6.30 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 13.13-15.15 กรัม ในขณะที่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 9.15-9.83 % ปริมาณโปรตีน (26.53-29.00) ปริมาณไขมัน (2.5-3.99%) เส้นใยอาหาร (2.95-3.22%) ปริมาณเถ้า (4.22-4.80%) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (50.95-53.98%) ความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.69-0.80 g/dm³ ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันอยู่ระหว่าง 1.89-2.15 และ 1.95-2.31 ml/g ตามลำดับ ขณะที่ค่า Foam Capacity มีค่าระหว่าง 10.00-21.00 ml ผลการวิเคราะห์ที่ได้ทำให้เห็นว่าถั่วพุ่มทั้งสามสายพันธุ์มีความสามารถ และศักยภาพที่ดี ในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร