

บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชในตระกูล Leguminosae และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* มีถิ่นกำเนิดที่แถบเอเชียตะวันออก เมล็ดถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาด 5-8 มิลลิเมตรและมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ด 120-150 มิลลิกรัม เมล็ดถั่วเหลืองอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันถึงร้อยละ 40 และ 20 ตามลำดับ (Snyder and Kwon, 1987) นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังเป็นแหล่งของสารประกอบไอโซฟลาโวน (Isoflavones) ซึ่งมีฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเพศหญิงช่วยลดการเกิดมะเร็งที่ระบบสืบพันธุ์ (Adlercreutz and Mazur, 1997) และรวมถึงเลซิทินซึ่งเป็นสารประกอบของไขมันและฟอสฟอรัสและทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้ไขมันและน้ำรวมตัวกันได้ดี ส่งผลให้สามารถนำแป้งถั่วเหลืองไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอื่นได้อีกหลายประเภท รายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองแสดงดังต่อไปนี้

2.1.1 โปรตีน

เมล็ดถั่วเหลืองแห้งประกอบไปด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 38-40 ในขณะที่ถั่วชนิดอื่นมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 20-30 (Snyder and Kwon, 1987) ถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนจำเป็น 8 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งไลซีนซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 5-6 ไลซีนช่วยในการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้กระดูกและข้อต่อแข็งแรง ลดโอกาสเกิดโรคข้อเสื่อมและกระดูกพรุน (สุริย์ แฉวเที่ยง, 2552)

โปรตีนในถั่วเหลืองประกอบด้วยสายโพลีเปปไทด์ขดม้วนแน่นและเป็นทรงกลม (Globular protein) ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดโกลบูลิน (Globulin) ประมาณร้อยละ 90 และ ชนิดอัลบูมินร้อยละ 10 (Bower et al., 1988) โปรตีนโกลบูลินมีสมบัติไม่ละลายน้ำในช่วง pH 4.2-4.6 ซึ่งเป็นจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) อย่างไรก็ตามโปรตีนโกลบูลินสามารถละลายน้ำได้ดีในช่วงที่มี pH มากกว่า 7 สำหรับในน้ำที่มี pH อยู่ในช่วง 6.0-6.5 นั้นพบว่าโปรตีนโกลบูลินสามารถละลายได้ร้อยละ 80-85 (Snyder and Kwan, 1987)

หากแยกตามสัมประสิทธิ์การตกตะกอน (Sedimentation coefficient) โปรตีนโกลบูลินสามารถแยกออกได้เป็น 4 ชนิดคือ 2S 7S 11S และ 15S โปรตีนโกลบูลินมากกว่าร้อยละ 70 ประกอบด้วยโปรตีน 7S (Conglycinin) และ 11S (Glycinin) ซึ่งจะเก็บสะสมในส่วนของเนื้อถั่ว โปรตีนโกลบูลินทั้งสองชนิดมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลืองเช่น การละลาย การเกิดเจล การเกิดอิมัลชัน และการเกิดฟอง ในปี ค.ศ. 1982 German และคณะรายงานว่า อุณหภูมิของการเสื่อมสภาพทางธรรมชาติ (Protein denaturation) ของโปรตีน 7S และ 11S มีค่าเท่ากับ 72 และ 92 °C ตามลำดับ เนื่องจากโปรตีนโกลบูลิน 11S นั้นมีอุณหภูมิที่ทำให้เสื่อมสภาพทางธรรมชาติสูงกว่าโปรตีนแบบ 7S จึงทำให้โปรตีน 11S มีความสามารถในการเกิดเจลได้ดีกว่าโปรตีน 7S ในขณะที่โปรตีน 7S มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันและ

ความคงตัวของอิมัลชันได้ดีกว่าโปรตีนแบบ 11S (Liu, 1997) การเสื่อมเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีนส่งผลให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายเกลียว (Unfold) และมีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) ระหว่างสายโพลีเปปไทด์ทำให้เกิดการจับตัวกันเองด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน และความคงตัวของอิมัลชันของโปรตีนลดลง (Cherry, 1981; Phillips and Finley, 1989)

2.1.2 ไขมัน

ปริมาณไขมันและส่วนประกอบของกรดไขมันในถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาวะในการปลูก โดยเฉลี่ยถั่วเหลืองที่ปลูกในประเทศไทยมีปริมาณไขมันร้อยละ 16-18 อย่างไรก็ตามในสภาวะฝนแล้งปริมาณไขมันในถั่วเหลืองจะลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 14-15 โดยน้ำหนัก โดยส่วนมากถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวประมาณร้อยละ 80 ของกรดไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 2.1) การบริโภคกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดได้ และยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของทารกและเด็ก (สุวสี โลวีรกรณ์, 2548; อรุณี สมมณี, 2548) อย่างไรก็ตามเนื่องจากกรดไขมันในถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเกิดการออกซิเดชันได้ง่าย (Penalvo et al., 2004)

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในเมล็ดถั่วเหลือง (ที่มา: ประเสริฐ สายสิทธิ์ และคณะ, 2537)

กรดไขมันชนิดอิ่มตัว		กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว	
ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณ (ร้อยละ)	ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณ (ร้อยละ)
Luaric	0.0-0.2	Dodecinoic	0.5-0.64
Myristic	0.1-0.4	Hexandecinoic	0.4-1.60
Palmatic	5.5-6.5	Oleic	10.9-60.0
Stearic	2.4-5.5	Linoleic	25.0-64.8
Arachidic	0.2-0.9	Linolenic	0.3-12.1
Behinic	-	Arachidonic	-
Lignocire	0.01-0.1		
รวม	15	รวม	85

2.1.3 คาร์โบไฮเดรต

ถั่วเหลืองประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 35 ถั่วเหลืองมีปริมาณแป้ง (Starch) น้อยมากหรือไม่มีเลยเมื่อเทียบกับแป้งชนิดอื่น ในปี ค.ศ. 1978 Wilson รายงานว่าถั่วเหลืองที่แก่เต็มที่จะมีปริมาณแป้งร้อยละ 0.19-0.91 นอกจากนี้ยังพบคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำหรือมีเส้นใยอาหารในเมล็ดถั่วเหลืองได้แก่ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ร้อยละ 50 เพคติน (Pectin) ร้อยละ 30 และเซลลูโลส (Cellulose) ร้อยละ 20 โดยส่วนใหญ่จะพบเส้นใยอาหารเหล่านี้ในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดมากกว่าส่วนของเนื้อถั่ว (Smith และ Circle, 1972) สำหรับคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้พบว่าเป็นน้ำตาลนอนรีดิวซิง (Non-reducing sugar) คาร์โบไฮเดรตมีผลต่อคุณภาพของแป้งถั่วเหลืองผ่านทางปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำตาลรีดิวซิงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ของแป้งถั่วเหลืองที่ได้มีสีน้ำตาล (Synder และ Known, 1987)

2.1.4 เลซิติน

เลซิตินเป็นสารประกอบของไขมันและฟอสฟอรัส หรือที่เรียกว่า ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) เลซิตินพบมากในไข่แดง นม ถั่วเปลือกแข็ง ปลา ธัญพืช น้ำมันพืช และเนื้อสัตว์ ในไข่แดงมีเลซิตินประมาณร้อยละ 6 - 8 สำหรับในพืช พบว่าถั่วเหลืองมีเลซิตินสูงที่สุดประมาณร้อยละ 1.1 - 3.2 เลซิตินช่วยทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งส่งผลให้ไขมันและน้ำรวมตัวกันได้ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเช่น ทดแทนสารอิมัลซิไฟเออร์ในไอศกรีมและทดแทนไข่แดงในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น

2.1.5 แร่ธาตุและวิตามิน

ถั่วเหลืองประกอบด้วยแร่ธาตุและวิตามินร้อยละ 5 ยกตัวอย่างเช่นโปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม รวมทั้งวิตามินที่ละลายในน้ำ ได้แก่ วิตามินบี 1 บี 2 ไนอะซิน กรดแพนโทนิค และกรดโฟลิก และวิตามินที่ละลายในไขมันได้แก่ วิตามินเอ วิตามินอี (Liu, 1997)

2.1.6 ไอโซฟลาโวน (Isoflavones)

ไอโซฟลาโวนเป็นกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และมีคุณสมบัติเหมือนฮอร์โมนเพศหญิง แป้งถั่วเหลืองประกอบด้วยไอโซฟลาโวนประมาณ 3 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (Kudou et al., 1991)

2.1.7 สารยับยั้งการทำงานของทริปซิน (Trypsin inhibitor)

สารยับยั้งการทำงานของทริปซินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในถั่วเหลืองซึ่งสามารถจับกับเอนไซม์ทริปซินทำให้ไม่สามารถย่อยสลายโปรตีนในทางเดินอาหาร สารยับยั้งการทำงานของทริปซินประกอบด้วยสารคูนินทิซินอินฮิบิเตอร์ (Kunitz inhibitor) และโบวแมนเบิร์ก (BowmanBirk inhibitor; BBI) สำหรับชนิดแรกเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 20,000 Da ประกอบด้วยกรดอะมิโน 181 ตัวและมีพันธะไดซัลไฟด์ 2 พันธะ ส่วนชนิดหลัง

เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 8,000 Da ประกอบด้วยกรดอะมิโน 71 ตัว และมีพันธะไดซัลไฟด์มากถึง 7 พันธะ จึงถูกทำลายได้ยากกว่าชนิดแรก สารยับยั้งการทำงานของทริปซินสามารถทำลายได้ด้วยความร้อน (Liener, 1994; Kwok and Niranjana, 1995) ดังนั้นประมาณร้อยละ 80 ของกิจกรรมการทำงานของสารนี้จึงจะถูกทำลายระหว่างกระบวนการผลิตแป้งถั่วเหลือง (Anderson and Wolf, 1995) เนื่องจากกระบวนการผลิตแป้งถั่วเหลืองผ่านกระบวนการอบแห้งดังนั้นจึงสามารถทำลายสารยับยั้งการทำงานของทริปซิน

แป้งถั่วเหลืองจะประกอบด้วยสารยับยั้งการทำงานของทริปซินประมาณ 28 มิลลิกรัม/กรัม ในปี พ.ศ. 2525 วลัย อินทรมพรรย์ กล่าวว่าทำให้ความร้อนกับถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 100 °C ระยะเวลา 10-20 นาที สามารถทำลายการทำงานของทริปซินได้เกือบหมด นอกจากนี้ Rackis และคณะ (1986) ได้แนะนำว่าการทำให้เอนไซม์ยูเรียเอสเสื่อมสภาพจะต้องใช้พลังงาน 1,200 จูล/กรัม ถึง 1,670 จูล/กรัม และสามารถทำลายการทำงานของทริปซินได้ร้อยละ 95 ผลการทดลองของ Rackis และคณะ (1986) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Wilkens และคณะ (1967) ที่รายงานว่าปฏิกิริยาสารยับยั้งการทำงานของทริปซินลดลงร้อยละ 90 เมื่อให้ความร้อนกับถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 5-10 นาที หรือ 93 °C นาน 60 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อถั่วเหลืองได้รับความร้อนที่สูงเกินไปอาจมีผลเสียต่อคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะกรดอะมิโนไลซีนถูกทำลายด้วยความร้อน นอกจากนี้มีการรายงานว่าการทำลายสารต้านคุณค่าทางโภชนาการในถั่วเหลืองด้วยความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะให้ผลดีกว่าแบบแห้ง (Clarke and Wiseman, 1999)

2.1.8 กรดไฟติก (Phytic acid)

กรดไฟติกเป็นสารที่ลดการดูดซึมของเกลือแร่โดยการเกาะติดกับเกลือแร่ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม โดยเฉพาะสังกะสีในลำไส้ นอกจากนี้กรดไฟติกสามารถแสดงคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่และมะเร็งเต้านมได้อีกด้วย (Messina, 1999) ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีปริมาณกรดไฟติกสูงโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น นมถั่วเหลืองและแป้งถั่วเหลือง ถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไฟติกช่วงร้อยละ 1.5-3 (ภักดีมา สุขพันธ์, 2552)

2.1.9 ซาโปนิน (Saponin)

โครงสร้างทางเคมีของซาโปนินประกอบด้วย Triterpenoidal หรือ Steroidal aglycones โดยซาโปนินสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามโครงสร้างของ Aglycones คือ Soyasapogenol A B และ E ถั่วเหลืองประกอบด้วยซาโปนินในเนื้อถั่ว (Cotyledon) ร้อยละ 0.2-0.3 และยอดอ่อน (Hypocotyl) มีมากถึงร้อยละ 2 อย่างไรก็ตามไม่พบซาโปนิน (Anderson and Wolf, 1995) ในส่วนของเปลือกซาโปนินมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ดังนั้นซาโปนินจึงมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และสารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent) อย่างไรก็ตามซาโปนินเป็นสารที่ทำให้เกิดรสขมในถั่วเหลือง (วันชัย สมชิต, 2527)

2.1.10 ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase)

เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) ส่งผลต่อการเกิดกลิ่นถั่ว (Beany) ของผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เนื่องจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เป็นกรดไขมันไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Fatty acid hydroperoxides) และสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น แอลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) แอลกอฮอล์ (Alcohol) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ (Off-flavour) (อ้างโดย Saidu, 2005) สภาพที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์นี้คือ pH เท่ากับ 6.5-9 และอุณหภูมิประมาณ 35-40°C แต่อย่างไรก็ตามการยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสทำได้โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C นาน 10-15 นาที (Mastaka and Albecht, 1969)

2.2 กระบวนการผลิตแป้งถั่วเหลือง

แป้งถั่วเหลืองแบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามปริมาณของไขมันที่มีอยู่ในแป้งถั่วเหลืองได้แก่ 1) แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full fat soy flour) คือ แป้งถั่วเหลืองที่มีปริมาณไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 18-20 2) แป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมัน (Defatted soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่มีการสกัดไขมันออกด้วยแอลกอฮอล์เช่น เฮกเซน (Hexane) มีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 1-2 3) แป้งถั่วเหลืองไขมันต่ำ (Low fat soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่มีปริมาณไขมันมากกว่าแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมัน หรือน้อยกว่าแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 5-6 และ 4) แป้งถั่วเหลืองเสริมสารเลซิทีน (Lecithinated soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่เติมสารเลซิทีนต่ำกว่าร้อยละ 15 เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และประโยชน์ในการนำไปใช้ในอาหารได้มากขึ้น

กระบวนการผลิตแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มประกอบด้วย การคัดขนาดวัตถุดิบ (Sorting) การเตรียมวัตถุดิบ (Pre-treatment) การอบแห้ง (Drying) การกะเทาะเปลือก (Dehulling) และการบด (Milling) (รูปที่ 2.2) การผลิตแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มในระดับอุตสาหกรรมบางครั้งไม่มีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อเป็นการลดขั้นตอนการผลิตและประหยัดพลังงาน อย่างไรก็ตามรายงานทางวิชาการแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่ด้วยน้ำ การใช้สารเคมี การต้ม การนึ่งด้วยไอน้ำ และการนึ่งด้วยหม้อความดัน ส่งผลให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก สามารถทำลายสารยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการเช่น สารยับยั้งการทำงานของทริปซิน (Trypsin inhibitor) และป้องกันการเกิดกลิ่นถั่วได้อีกด้วย (Mpagalile et al., 2008; Tiwari et al., 2010) ขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม คือ ขั้นตอนการอบแห้ง ถึงแม้ขั้นตอนการอบแห้งจะเป็นการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่บนเปลือกถั่วซึ่งส่งผลช่วยยืดอายุของแป้งถั่วเหลือง แต่การให้ความร้อนกับถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานส่งผลให้โปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพทางธรรมชาติ (Protein denaturation) (Cherry, 1981)

2.2.1 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นในวัสดุ ส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุชั้นเพื่อไล่ความชื้นออกไปโดยการระเหย โดยทั่วไปจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่

มาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิววัสดุมีปริมาณน้ำลดลงเหลือน้อย อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิของวัสดุจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ดังนั้นช่วงอัตราการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ

- ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate)

ในการอบแห้งวัสดุที่มีความชื้นสูงๆ ในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ จะเกิดจากพื้นผิวของวัสดุมีการถ่ายเทมวลและความร้อนที่ผิวนอกของวัสดุอย่างเดียว

- ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling drying rate)

ปริมาณความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดภายในผิวและเนื้อวัสดุ การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุมายังผิวจะช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวไปยังอากาศทำให้อัตราการอบแห้งลดลง

สมการจลนศาสตร์การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงสามารถแบ่งเป็น สมการการอบแห้งทางทฤษฎี สมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎี และสมการอบแห้งแอมพิริคัล (Empirical model) โดยสมการที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุเกษตรนั้นจะอยู่ในรูปของสมการที่เรียกว่า logarithmic model หรือที่เรียกกันว่าเป็นสมการการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical Drying Equation) ซึ่งเป็นรูปแบบผลเฉลยอย่างง่ายของ สมการการแพร่กระจายของ Frick (Sogi และคณะ, 2003) ซึ่งมีรูปแบบสมการคือ

$$M_R = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} = \exp(-kt) \quad (2.1)$$

เมื่อ M_R คือ อัตราส่วนความชื้น (ไม่มีหน่วย) M คือ ค่าความชื้นของวัสดุ (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) M_e คือ ความชื้นสมดุล (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) M_0 คือ ค่าความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) k คือ drying rate constant t คือ เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

ถึงแม้ว่า logarithmic model ในสมการที่ 2.1 จะสามารถอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุเกษตรได้หลายชนิด อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุเกษตรอีกหลายชนิดที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ logarithmic model แต่สามารถอธิบายได้ดีโดยใช้สมการอบแห้งที่ได้มาจากการทดลอง (Empirical equation) การประยุกต์ใช้สมการอบแห้งแอมพิริคัลเพื่อทำนายและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารซึ่งสมการที่เหมาะสมจะสามารถทำนายค่าความชื้นในแต่ละเวลาระหว่างการอบแห้งได้อย่างเหมาะสม ทำให้ทราบเวลาสิ้นสุดการอบแห้งได้ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเสื่อมเสียของคุณภาพ

เนื่องจากการอบแห้งที่ใช้เวลานานเกินไป และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง อย่างไรก็ตามแบบจำลองเอมพิริคัลมีข้อจำกัด อาทิ ความขึ้นสัมพันธ์ของอากาศและอุณหภูมิคงที่ ความเร็วของอากาศคงที่เป็นต้น สมการที่รู้จักกันดีในการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองคือ สมการของ Page's model (Kaleemullah and Kailappan, 2006) (สมการที่ 2.2)

$$M_R = \exp (-kt^n) \quad (2.2)$$

เมื่อ n คือ เลขยกกำลัง (ไม่มีหน่วย)

2.2.2 การกะเทาะเปลือก (Dehulling)

การกะเทาะเปลือก (Dehulling) คือ การแยกส่วนเปลือกออกจากส่วนของเนื้อถั่วเหลือง (Cotyledon) และยอดอ่อน (Hypocotyl) โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตแป้งถั่วเหลืองจะนิยมนำเปลือกถั่วเหลืองออกก่อนนำส่วนเนื้อถั่วไปบดเป็นแป้ง เนื่องจากเปลือกถั่วมีปริมาณไฟเบอร์สูง นอกจากนี้เปลือกถั่วยังประกอบด้วยสาร polysaccharide บางชนิดที่ทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ มากกว่านั้นเปลือกของถั่วเหลืองยังเป็นที่สะสมของเชื้อราหรือสารพิษที่เชื้อราสร้างขึ้นอีกด้วย แป้งถั่วเหลืองที่ผลิตโดยใช้เมล็ดถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการกะเทาะเปลือกจะมีความหนืดสูงและมีรสขม (Fukushima, 1991; Tanteerataarm et al., 1997)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแป้งถั่วเหลืองและการนำไปใช้

Mpagalile และคณะ (2008) ศึกษาผลของระยะเวลาในการนึ่งด้วยไอน้ำ (0 5 10 และ 15 นาที) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 43-46°C นาน 8 ชั่วโมง ต่อประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกเมล็ดถั่วเหลืองสองสายพันธุ์คือ Black (*Ex songes*) และ Bossier ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองโดยไม่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำส่งผลให้ถั่วเหลืองไม่มีความชื้นเพิ่มขึ้นในส่วนของเปลือกและเนื้อถั่วเหลือง ดังนั้นเปลือกและเนื้อถั่วเหลืองติดกันแน่นทำให้เมื่อนำไปอบแห้งประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่การนึ่งด้วยไอน้ำส่งผลให้พันธะที่ยึดระหว่างเนื้อถั่วและเปลือกหลุดออกจากกันได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเปลือกและเนื้อถั่วเหลืองมีความชื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พันธะที่ยึดระหว่างเปลือกและเนื้อถั่วถูกทำลาย ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำมากขึ้นประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกจะเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำนาน 10 และ 15 นาทีส่งผลต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกของถั่วเหลืองไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้วัดความชื้นของถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Raji และ Famurewa (2008) ศึกษาผลของเปลือกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแป้งถั่วเหลืองพบว่า แป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีเปลือกมีปริมาณโปรตีนและไขมันเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณเถ้าและไฟเบอร์ลดลง เนื่องจากในส่วนเปลือกประกอบด้วยไฟเบอร์และเถ้าในปริมาณสูงกว่าในส่วนของเนื้อถั่ว นอกจากนี้การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์ขนมปังร้อยละ 5 พบว่า ตัวอย่างแป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีเปลือกได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าตัวอย่างที่มีเปลือกปนทั้งในด้านของสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมปัง

Odumodu (2010) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการของแป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีเปลือก กระบวนการผลิตแป้งถั่วเหลืองคือ แช่เมล็ดถั่วเหลือง 400 เมล็ด (น้ำ 10 ลิตร + 5 กรัมของ sodium bicarbonate) นำไปต้ม 10 นาที อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 24 ชั่วโมง กะเทาะเปลือกทันที และแยกเปลือกออก นำส่วนเนื้อถั่วบดด้วยเครื่อง Hammer mill ร่อนแป้งให้ได้ขนาด 300 ไมครอน (mesh NO. 50) จนกระทั่งได้แป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีเปลือก ผลการทดลองพบว่าแป้งถั่วเหลืองมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ความชื้นร้อยละ 3.70 เถ้าร้อยละ 3.99 ไขมันร้อยละ 25.97 ไฟเบอร์ร้อยละ 4.06 และโปรตีนร้อยละ 49.32 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และประกอบด้วยสารต้านคุณค่าทางโภชนาการดังนี้ สารยับยั้งการทำงานของทริปซิน แทนนิน ไฟเตต ออกซาเลต และ ซาโปนิน 2,786 34.92 42 27.62 และ 34.60 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ