

บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ถั่วเหลืองได้รับในระหว่างการอบแห้งและประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกและคุณภาพของแป้งถั่วเหลือง โดยตัวอย่างถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้คือ สายพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีอายุ 120 วัน งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 งานวิจัยย่อยดังนี้ 1) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดถั่วเหลือง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเมล็ดถั่วเหลืองและคำนวณปริมาณความร้อนที่ถั่วเหลืองได้รับในระหว่างการอบแห้ง 2) การศึกษาประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกและคุณภาพของแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะที่แตกต่างกัน และ 3) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เมล็ดถั่วเหลืองได้รับและประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกและคุณภาพของแป้งถั่วเหลือง

องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างถั่วเหลืองแสดงดังตารางที่ 4.1 ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 40.29) และไขมัน (ร้อยละ 18.56) ที่พบในตัวอย่างถั่วเหลืองใกล้เคียงกับที่แสดงในเอกสารทางวิชาการที่ผ่านมา (Snyder and Kwon, 1987) ถึงแม้ว่าถั่วเหลืองยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตในปริมาณร้อยละ 18.15 แต่เอกสารทางวิชาการหลายฉบับแสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองมีปริมาณแป้ง (Starch) น้อยมากหรือไม่มีเลย ยกตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 1978 Wilson รายงานว่าถั่วเหลืองที่แก่เต็มที่จะมีปริมาณแป้งเพียงร้อยละ 0.19-0.91 ดังนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ตรวจวัดได้ในถั่วเหลืองประกอบไปด้วยเส้นใยอาหารเช่น เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เพคติน (Pectin) และเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งมักจะพบในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดมากกว่าส่วนของเนื้อถั่ว (Smith and Circle, 1972) เนื่องจากถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนและไขมันเป็นหลัก ดังนั้นสามารถอนุมานได้ว่าคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลืองเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนและไขมัน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างถั่วเหลือง (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

Sample	Moisture	Protein	Fat	Ash	Fibre	Carbohydrate
Soybean	9.85±0.03	40.29±1.02	18.56±0.11	8.37±0.16	4.78±0.00	18.15

4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดถั่วเหลือง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเมล็ดถั่วเหลืองและคำนวณปริมาณความร้อนที่ถั่วเหลืองได้รับในระหว่างการอบแห้ง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองและระยะเวลาในการอบแห้ง

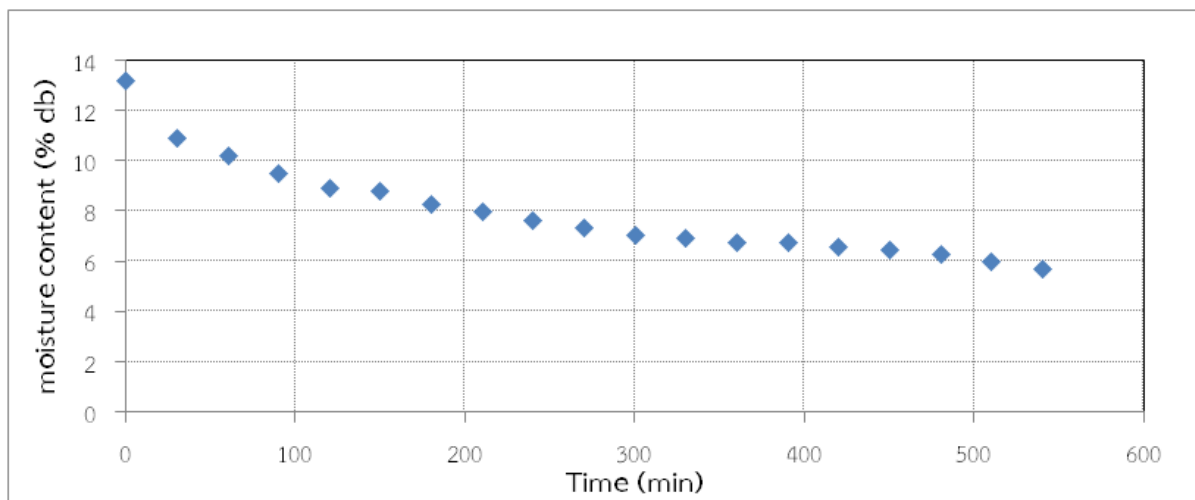
รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองในขณะอบแห้งที่ 60°C เมล็ดถั่วเหลืองที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 13.21±0.22 โดยน้ำหนักแห้งจะผ่านการอบแห้งจนกระทั่งมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 6.38 โดยน้ำหนักแห้งเพื่อให้ตรงตามมาตรฐานการผลิตแปรรูปถั่วเหลือง (มผช.137/2550) ซึ่งกำหนดให้ความชื้นของแปรรูปถั่วเหลืองไม่เกินคือร้อยละ 8 ของน้ำหนักเปียก จากรูปที่ 4.1 สามารถคำนวณระยะเวลาในการอบแห้งถั่วเหลืองจากความสัมพันธ์ของค่าความชื้นของเมล็ดถั่วเหลือง (M_R) และระยะเวลาในการอบแห้ง (t) ดังสมการของ Page' s model

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

เมื่อ k และ n เป็นค่าคงที่ของการอบแห้ง นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้คำนวณค่า RMSE เพื่อเป็นการทดสอบสมการที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการทดลอง หากค่า RMSE มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าสมการที่ใช้มีความแม่นยำและสามารถเป็นตัวแทนในการทดลองเพื่อใช้ในการหาระยะเวลาในการอบแห้งตัวอย่างถั่วเหลืองในลำดับต่อไป

ค่าคงที่ k และ n ค่า RMSE และระยะเวลาในการอบแห้งที่คำนวณจากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 คณะผู้วิจัยพบว่า ค่า RMSE สำหรับทุกตัวอย่างทดลองมีค่าเข้าใกล้ 0 ($RMSE = 0.01-0.02$) แสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณเรื่องระยะเวลาในการอบแห้งด้วยสมการของ Page' s model มีความน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น เช่น ระยะเวลาในการอบแห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 60°C เพิ่มสูงขึ้นจาก 438 นาที เป็น 828 นาทีเมื่อมีการนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำนาน 5 นาทีก่อนการอบแห้ง ทั้งนี้เป็นเพราะหลังการนึ่งด้วยไอน้ำถั่วเหลืองมีความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 13 เป็นร้อยละ 18 โดยน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการนึ่งถั่วเหลืองที่เพิ่มสูงขึ้นไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งรวมถึงความชื้นของถั่วเหลืองหลังการนึ่ง (ตารางที่ 4.1) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการนึ่งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 นาที เพียงพอที่จะทำให้ถั่วเหลืองได้รับความชื้นที่สมดุล นอกจากนี้ตารางที่ 4.1 ยังแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในอบแห้งจะลดลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 160°C โดยไม่ขึ้นอยู่กับกระบวนการนึ่งถั่วเหลืองก่อนการอบแห้ง

ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในการอบแห้งถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของถั่วเหลืองและอุณหภูมิในการอบแห้งเป็นสำคัญ



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดกล้วยในขณะอบแห้งที่ 60°C

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาการอบแห้งกล้วยที่สภาวะแตกต่างกันเมื่อกำหนดให้ความชื้นสุดท้ายของกล้วยแห้งเท่ากับร้อยละ 6.38 โดยน้ำหนักแห้ง

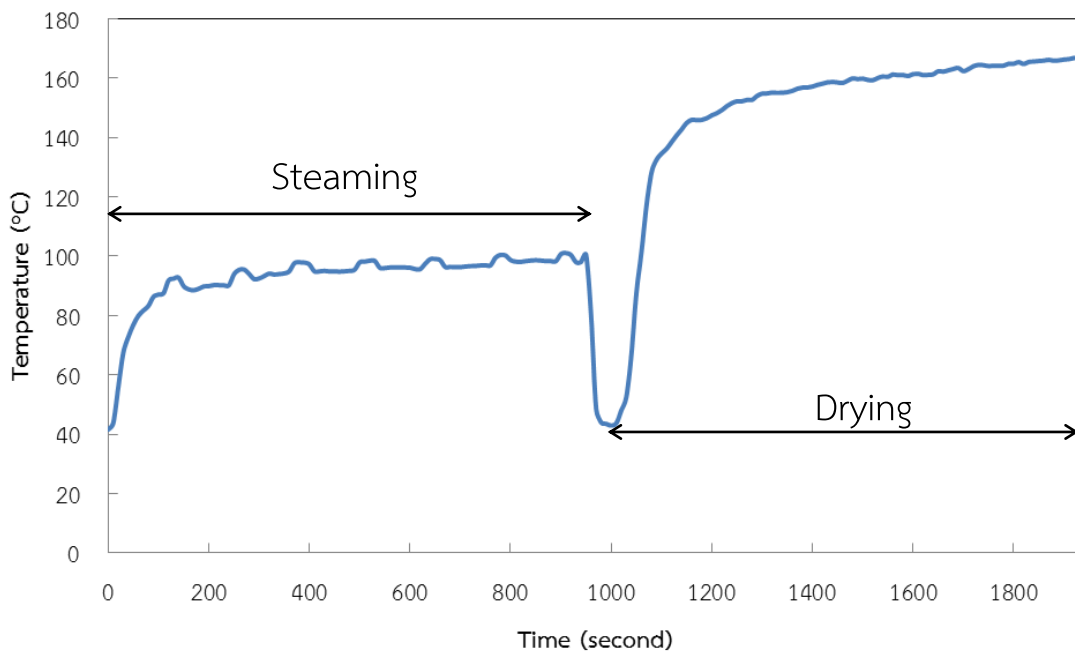
ระยะเวลานึ่งด้วยไอน้ำ (นาที)	ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยแห้งก่อนการอบแห้ง (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	n	k	RMSE	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจากการคำนวณ (นาที)
0	13.21 ± 0.22 ^a	60	0.51	0.03	0.01	438
		100	0.64	0.06	0.01	52
		130	0.73	0.08	0.01	22
		160	0.89	0.1	0.01	10
5	17.83 ± 0.60 ^b	60	0.43	0.06	0.01	828
		100	0.44	0.12	0.01	128
		130	0.54	0.14	0.02	39
		160	0.8	0.11	0.01	16
10	18.08 ± 0.54 ^b	60	0.46	0.05	0.01	736
		100	0.46	0.11	0.01	132
		130	0.58	0.12	0.01	40
		160	0.78	0.13	0.02	15
15	18.15 ± 0.43 ^b	60	0.44	0.06	0.01	795
		100	0.57	0.06	0.01	152
		130	0.54	0.14	0.01	40
		160	0.87	0.11	0.02	15

ตัวอักษร a และ b ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

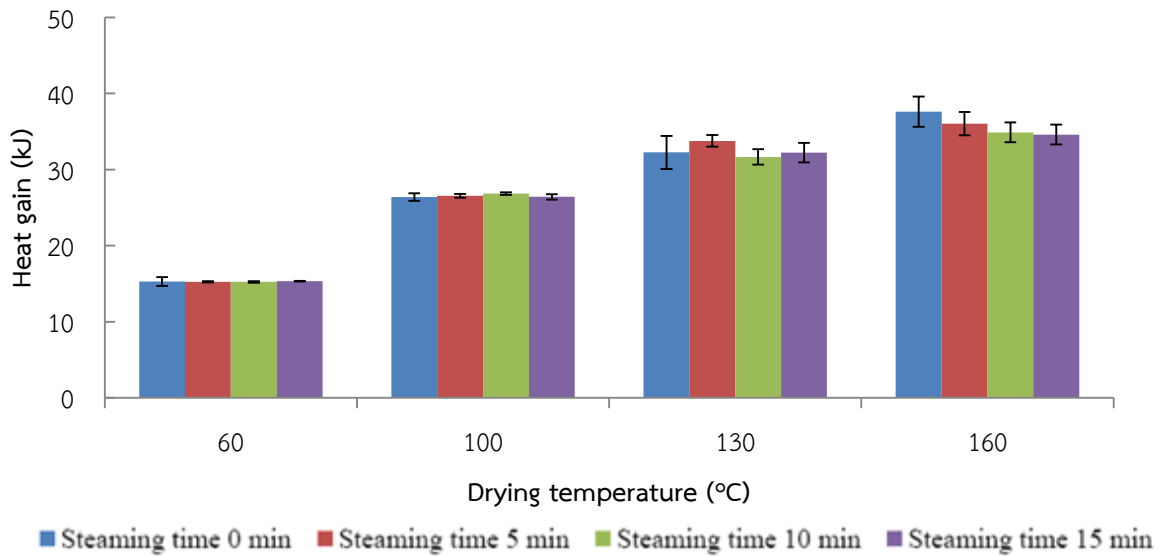
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเมล็ดถั่วเหลืองและคำนวณปริมาณความร้อนที่ถั่วเหลืองได้รับในระหว่างการอบแห้ง

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดถั่วเหลืองในขณะนึ่งด้วยไอน้ำที่ 100 °C เป็นเวลานาน 15 นาทีและอบแห้งที่ 160°C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิภายในเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที) ในระหว่างการนึ่งด้วยไอน้ำหรือการอบแห้ง ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะถั่วเหลืองมีขนาดเล็ก ตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองที่นำมาใช้ในการศึกษานี้มีความยาวและความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 7.09 มิลลิเมตรและ 6.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ (สุ่มวัด 100 เมล็ด)

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการนึ่งไม่ส่งผลต่อพลังงานความร้อนที่ถั่วเหลืองได้รับ



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดถั่วเหลืองในขณะนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลานาน 15 นาทีและอบแห้งที่ 160°C



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อพลังงานความร้อนที่ถั่วเหลืองได้รับ

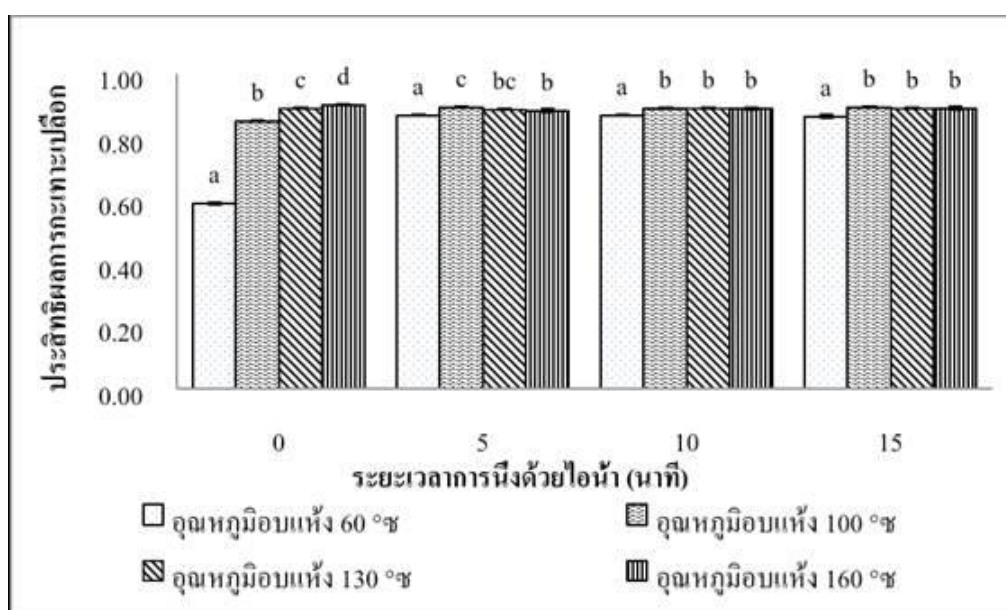
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกและคุณภาพของแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.59 เป็น 0.89 เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 130°C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการอบแห้งที่ 130 และ 160°C ให้ผลการกะเทาะเปลือกที่ไม่แตกต่างกัน (ประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเท่ากับ 0.89 และ 0.90 ตามลำดับ)

การนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100°C อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการนึ่งด้วยไอน้ำไม่ส่งผลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลือง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Mapagalile และคณะ (2008) ซึ่งรายงานว่า การนึ่งถั่วเหลืองส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำจาก 0.57 ถึง 0.92 การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเนื่องจากการนึ่งด้วยไอน้ำมีสาเหตุมาจากความร้อนชั้นของไอน้ำที่ซึมผ่านเข้าสู่เปลือกและเมล็ดถั่วได้ทำลายสารจำพวก กัมและเมือกซึ่งยึดติดระหว่างเนื้อถั่วและเปลือกหุ้มเมล็ดหลุดออกจากกัน และเมื่อนำไปอบแห้งจะส่งผลให้ส่วนของเนื้อถั่วเหลืองเกิดการหดตัว (Shrink) มากกว่าส่วนเปลือก ดังนั้นส่วนเปลือกจึงง่ายต่อการหลุดจากส่วนเนื้อถั่วเหลือง (Ramakrishnaiah and Kurein, 1983)

การนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเมื่ออุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่า 130°C เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญในการกะเทาะเปลือกคืออุณหภูมิในการอบแห้ง

วิวัฒน์ วุฒิวิวัฒน์ชัย (2540) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลืองมีการสูญเสียความชื้นไปอย่างรวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเมล็ดซึ่งถูกจำกัดด้วยการแพร่ภายในถั่วเหลือง ดังนั้นบริเวณเนื้อถั่วเหลืองจึงเกิดการแข็งตัวและอุณหภูมิที่ผิวของถั่วเหลืองจะสูงขึ้นส่งผลให้เมล็ดถั่วเหลืองเกิดการแตกร้าว (Cracking) เมื่อกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองขณะที่ยังร้อนจึงส่งผลให้การขัดสีเปลือกออกจากเนื้อถั่วเหลืองเกิดขึ้นได้ง่าย และส่งผลต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการให้ความร้อนขึ้นส่งผลให้พันธะที่ยึดระหว่างส่วนเปลือกและที่ผิวของเนื้อถั่วถูกทำลายทำให้เปลือกหลุดออกจากเนื้อถั่วได้ดีเมื่อนำมาอบแห้งและกะเทาะเปลือก



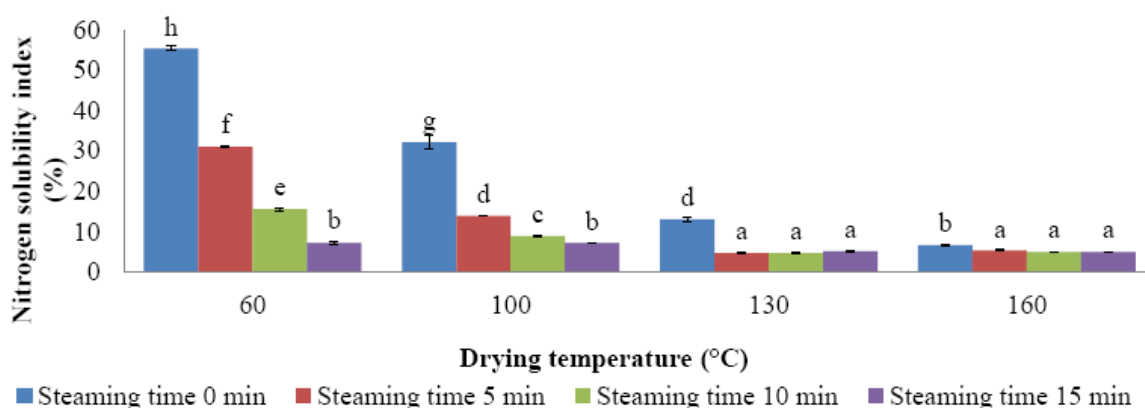
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำและอุณหภูมิอบแห้งที่แตกต่างกัน ตัวอักษร a b และ c ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

รูปที่ 4.5 แสดงผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อค่าดัชนีการละลายไนโตรเจนของแป้งถั่วเหลือง เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้แป้งถั่วเหลืองมีค่าดัชนีการละลายของไนโตรเจนที่ลดลง ยกตัวอย่างเช่น ค่าดัชนีการละลายไนโตรเจนลดลงจาก 58.57 เป็น 9.18 เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจาก 60°C เป็น 160°C อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการนึ่งเมล็ดถั่วเหลืองก่อนการอบแห้งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการละลายไนโตรเจนของแป้งถั่วเหลือง

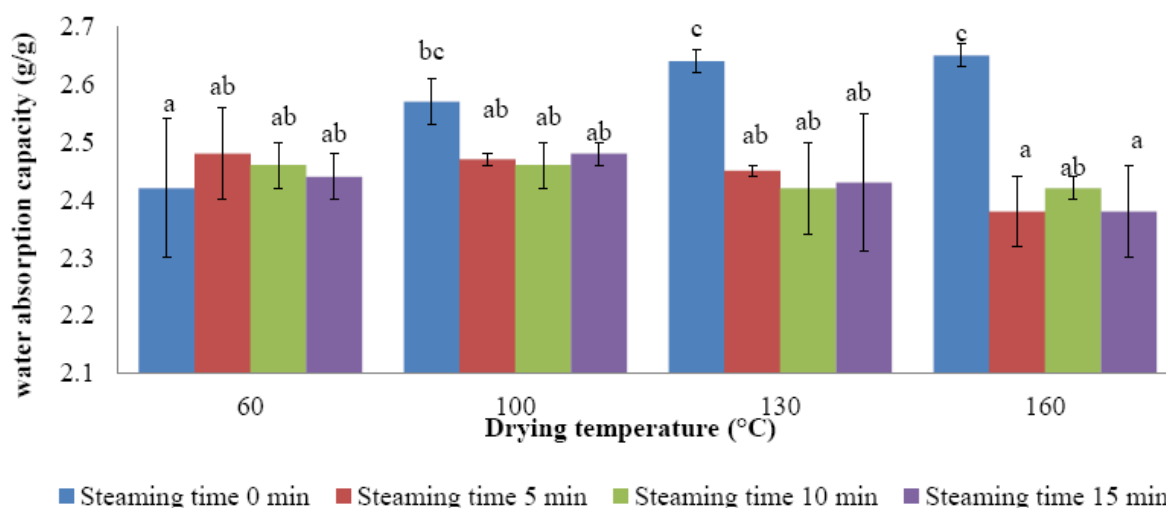
การลดลงของดัชนีการละลายไนโตรเจนเกิดเนื่องจากการเสื่อมสภาพทางธรรมชาติของโปรตีนโดยทั่วไปเมื่อโปรตีนโกลบูลินเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ โปรตีนจะเกิดการคลายตัวและแสดงส่วนที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar group) หรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ออกมามากขึ้น ดังนั้นเมื่อโมเลกุลของโปรตีนเข้าใกล้กันมากขึ้นจึงนำไปสู่การรวมกลุ่มและการตกตะกอนของโปรตีนส่งผลให้ความสามารถในการ

ละลายของโปรตีนลดลง (Liu, 1997) ในปี ค.ศ. 1982 German รายงานว่าอุณหภูมิของการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน 7S (β -conglycinin) และ 11S (Glycinin) มีค่าเท่ากับ 72 และ 92°C

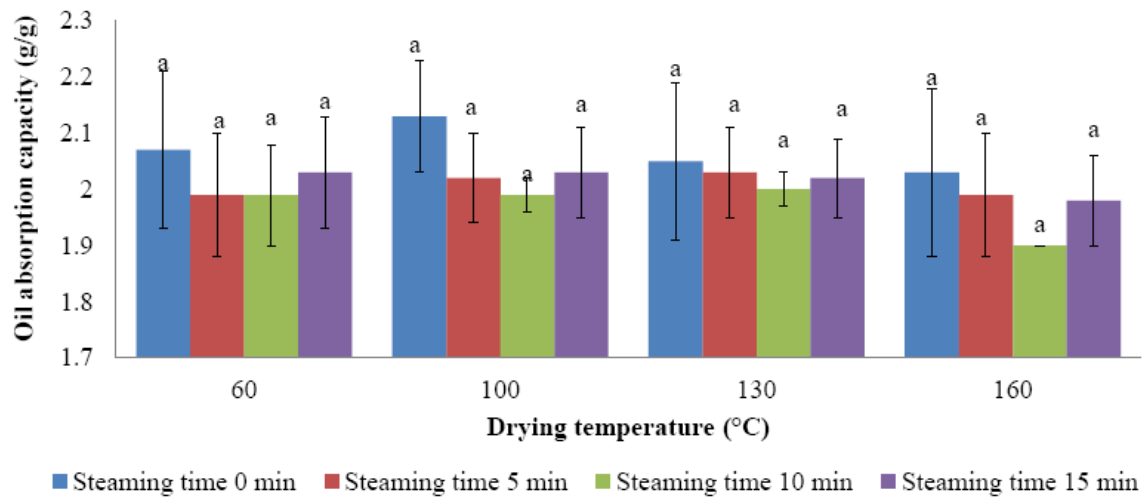
รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งต่อความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งถั่วเหลือง ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตแป้ง (เวลาในการนึ่ง และ อุณหภูมิในการอบแห้งของเมล็ดถั่วเหลือง) ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งถั่วเหลืองที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อค่าดัชนีการละลายไนโตรเจนของแป้งถั่วเหลือง

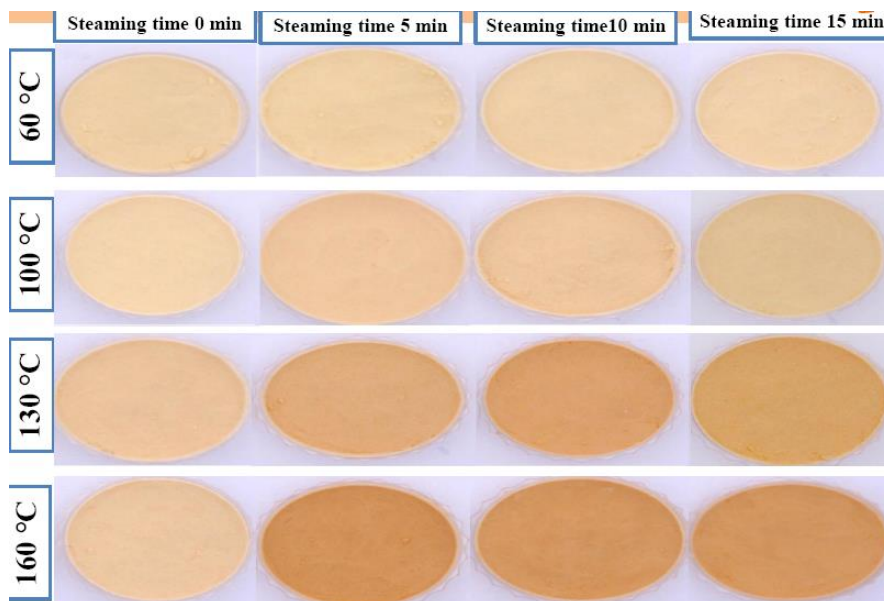


รูปที่ 4.6 ผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งถั่วเหลือง



รูปที่ 4.7 ผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแป้งถั่วเหลือง

รูปที่ 4.8 แสดงผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อค่าสีของแป้งถั่วเหลือง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วเหลืองมีสีคล้ำขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเมล็ดถั่วเหลืองผ่านการนึ่งไอน้ำและการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 และ 160°C ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ พิมพ์มาส ปันยาชีวะ (2549) ซึ่งรายงานว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงให้ค่าความสว่างของแป้งถั่วเหลืองมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C นาน 30 นาที แป้งถั่วเหลืองมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (Maillard reaction) ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับอะมิโนอิสระที่มีอยู่ในแป้งถั่วเหลือง ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (Fellows, 1990)



รูปที่ 4.8 ผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อค่าสีของแป้งถั่วเหลือง

4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เมลต์ถั่วเหลืองได้รับและประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก และคุณภาพของแป้งถั่วเหลือง

ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เมลต์ถั่วเหลืองได้รับและประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกเมื่อตัวอย่างถั่วเหลืองผ่านการอบแห้งจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 6.38 โดยน้ำหนักแห้ง ยกตัวอย่างเช่น ถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการนึ่งจะมีประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 130°C อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการอบแห้งที่ 130 และ 160°C ให้ผลการกะเทาะเปลือกที่ไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.4) อย่างไรก็ตาม ถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการนึ่งจะได้รับพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 4.3)

นอกจากนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เมลต์ถั่วเหลืองได้รับและคุณภาพของแป้งถั่วเหลือง เช่น ค่าสี ดัชนีการละลายของไนโตรเจน และความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน