หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

วิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 การทดลองหาระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะ

6.1.1 ร้อยละการกะเทาะถั่วลิสงที่ระดับความชื้นต่าง ๆ

ร้อยละการกะเทาะถั่วลิสงที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5 - 2) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการกะเทาะเป็นการทำให้เปลือกแตกและเมล็ดหลุดออกมา (โดยรวมทั้งเมล็ดที่ได้รับความเสียหายเนื่องจากการกะเทาะด้วย) ซึ่งขึ้นอยู่กับ ความชื้นของเปลือก (ถ้าเปลือกมีความชื้นสูงจะเหนียวแตกได้ยาก ถ้าความชื้นต่ำมากจะเปราะแตกง่าย กะเทาะได้ง่าย แต่จะมีเศษเล็ก ๆ เป็นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายมาก) และความชื้นของเมล็ด ช่วงที่เมล็ดมีความชื้นสูงมาก เมล็ดจะมีขนาดอวบใหญ่ ช่องว่างภายในฝักถั่วระหว่างเมล็ดและเปลือกมีน้อย (สังเกตได้โดยการเขย่าฝักถั่วจะไม่มีเสียงคลอนของเมล็ดกระทบเปลือก) ถ้ากะเทาะฝักถั่วขณะที่เมล็ดมีความชื้นสูงมากจะกะเทาะไม่แตก เมล็ดได้รับความเสียหายมาก เมื่อความชื้นของเมล็ดลดลงขนาดจะเล็กลงด้วย ช่องว่างภายในฝักถั่วระหว่างเมล็ดและเปลือกมากขึ้น (เมื่อเขย่าฝักถั่วจะได้ยินเสียงคลอนของเมล็ดกระทบเปลือก) ช่วงที่เริ่มกะเทาะแล้วเปลือกแตกเมล็ดหลุดออกมา ความชื้นของเมล็ดอยู่ในช่วงร้อยละ 20 (โดยประมาณ) หรือต่ำกว่านี้ ในการทดลองนี้ระดับความชื้นของเมล็ดแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ดูตารางที่ 5 - 1) แต่เป็นระดับความชื้นที่สามารถกะเทาะได้แล้ว และระดับความชื้นของเปลือกใกล้เคียงกันมาก จึงเป็นเหตุให้ร้อยละการกะเทาะไม่แตกต่างกัน

6.1.2 ร้อยละการแตกหักของเมล็ดถั่วลิสงที่ระดับความชื้นต่าง ๆ

ร้อยละการแตกหักของเมล็ดถั่วลิสงที่ระดับความชื้นต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5 - 4) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการแตกหักที่ระดับความชื้นต่าง ๆ พบว่ากลุ่มค่าเฉลี่ยร้อยละการแตกหักที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มแรกค่าเฉลี่ยร้อยละการแตกหักน้อยเป็นลำดับ 1 (ร้อยละ 14.5) และ 2 (ร้อยละ 15.9) คือที่ระดับความชื้นของเมล็ดร้อยละ

14.68 และ 10.10 กลุ่มที่สอง ค่าเฉลี่ยของร้อยละการแตกหักต่ำเป็นลำดับที่ 3 (ร้อยละ 17.9), 4 (ร้อยละ 18.5) และ 5 (ร้อยละ 18.9) คือที่ระดับความยั้นของเมล็ดร้อยละ 7.55, 6.75 และ 20.33 กลุ่มที่สาม ค่าเฉลี่ยร้อยละการแตกหักสูงสุด (ร้อยละ 22.3) คือที่ระดับความยั้นของเมล็ดร้อยละ 5.89 (ดูตารางที่ 5.5) การแตกหักของเมล็ดเนื่องจากการกะเทาะยั้นอยู่กับความยั้นของเปลือกและเมล็ด ถ้าเปลือกมีความยั้นสูงจะเหนียวแตกได้ยาก ทำให้ต้องกะเทาะนาน เมล็ดถูกกะเทาะมากจะช้ำและแตกไปด้วย แต่ในการทดลองนี้เปลือกมีความยั้นใกล้เคียงกัน การแตกหักของเมล็ดอาจเนื่องมาจากระดับความยั้นของเมล็ดที่แตกต่างกันเพียงอย่างเดียว ที่ระดับความยั้นสูง (ร้อยละ 20.33) ลักษณะการแตกหักของเมล็ดจะเห็นไม่ชัดเจน เมล็ดมักจะช้ำ บิ่น ฉีกขาด แต่ไม่ปริแตกจากกัน ผิวถลอก แต่เห็นไม่ชัดเจนเนื่องจากสีเข้ม (ดูรูปที่ ก-1, ภาคผนวก ก) เมื่อนำเมล็ดที่กะเทาะได้นี้ไปอบแห้งต่อจนเหลือความยั้น ร้อยละ 6 - 7 จะเห็นลักษณะผิวถลอกเป็นตำหนิชัดเจน ที่ระดับความยั้นต่ำ (ร้อยละ 5.89) ลักษณะการแตกหักของเมล็ดเห็นชัดเจนคือ เมล็ดจะปริแตกแยกจากกันเป็น 2 ซีกเป็นจำนวนมาก, บิ่นและหัก ผิวหุ้มเมล็ดถลอกหรือหลุดออกไปทั้งหมด (ดูรูปที่ ก-2,. ภาคผนวก ก) ลักษณะการแตกหักของเมล็ดที่ความยั้นอื่น ๆ (ร้อยละ 14.68, 10.10, 7.55 และ 6.75) จะเหมือนกับลักษณะการแตกหักที่ความยั้นต่ำเพียงแต่ปริมาณที่แตกหักแตกต่างกัน ที่ระดับความยั้นของเมล็ด ร้อยละ 14.68 และ 10.10 ร้อยละการแตกหักต่ำเป็นลำดับที่ 1 และ 2 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระดับความยั้นของเมล็ดต่ำกว่านี้ คือที่ร้อยละ 7.55 และ 6.75 ร้อยละการแตกหักสูงยั้นสอดคล้องกับที่ Davidson และคณะ [98] ได้เสนอแนะไว้ว่าการกะเทาะที่ความยั้นของเมล็ดประมาณร้อยละ 14 เมล็ดจะได้รับความเสียหายน้อย

ค่าร้อยละการกะเทาะและค่าร้อยละการแตกหักในการทดลองนี้มีค่าต่ำและสูงกว่าผลที่ปรากฏในการทดลองอื่น ๆ [86, 89] เนื่องจากเครื่องกะเทาะที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องซึ่งสร้างจำลองจากเครื่องต้นแบบของกองเกษตรวิศวกรรม เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้ในการทดลองนี้ซึ่งมีถั่วทดลองแต่ละครั้งจำนวนจำกัด แต่ได้คัดเลือกขนาดของฝักถั่วลิสงที่จะกะเทาะกำหนดปริมาณถั่วที่ใช้และเวลาในการกะเทาะเท่ากันทุกครั้ง ผลการทดลองจึงเป็นค่าสัมพัทธ์ที่เปรียบเทียบกันเอง มิได้ดูประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะ

6.2 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมแก่การอบแห้งถั่วลิสงด้วยเครื่องอบแห้งแบบเป็นชั้น โดยวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ

6.2.1 การอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

6.2.1.1 เวลาการอบแห้งของการอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

เวลาการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะเมื่ออบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5 - 7) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาการอบแห้ง พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียสเวลาการอบแห้งเท่ากัน และน้อยเป็นลำดับที่ 1 (24 ชม.) ที่ระดับอุณหภูมิ 45, 40 และ 35 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยเวลาการอบแห้งน้อยเป็นลำดับที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ (47.5 ชม., 54 ชม. และ 80.5 ชม.) (ดูตารางที่ 5 - 8) อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 5 ระดับมีผลทำให้เวลาการอบแห้งผักถั่วลิสงสดจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะแตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง ความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลงนี้มีผลทำให้ความชื้นสมดุลย์สำหรับถั่วลิสงมีค่าต่ำลง เป็นเหตุให้ศักยภาพการอบแห้งเพิ่มขึ้น เวลาการอบแห้งจึงเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง (รวมเวลาการอบแห้งผักถั่วลิสงจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะ และเวลาการอบแห้งเมล็ดถั่วลิสงที่กะเทาะได้ จนถึงระดับความชื้นที่เก็บได้อย่างปลอดภัย) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5 - 10) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาทั้งหมดในการอบแห้งพบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเท่ากันและน้อยเป็นลำดับที่ 1 (34.5 ชม.) ที่ระดับอุณหภูมิ 45, 40 และ 35 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยเวลาทั้งหมดในการอบแห้งน้อยเป็นลำดับที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ (58 ชม., 63 ชม. และ 91.5 ชม.) (ดูตารางที่ 5 - 11) อุณหภูมิระดับต่าง ๆ มีผลทำให้เวลาทั้งหมดในการอบแห้งแตกต่างกันเช่นเดียวกับที่มีผลต่อเวลาการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมเนื่องด้วยเหตุผลเดียวกัน

6.2.1.2 ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของการอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ (เฉพาะช่วงการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะ)

ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดเมื่ออบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-13) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ด พบว่ากลุ่มค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์การอบแห้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือที่ระดับอุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส (ดูตารางที่ 5-14)

ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-16)

ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งฝัก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-18) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งฝัก พบว่ากลุ่มค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์การอบแห้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือ กลุ่มแรกที่ระดับอุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียส กลุ่มที่สองที่ระดับอุณหภูมิ 55 และ 50 องศาเซลเซียส (ดูตารางที่ 5-19)

ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งเป็นฟังก์ชั่นของวัตถุและอุณหภูมิที่อบแห้ง [59] เมื่อพิจารณาจากสมการ 2.7 ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งเป็นค่าที่ mass diffusivity แฝงอยู่ จึงใช้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งเป็นเกณฑ์ประเมินผลการทดลองเสริมกับค่าเวลาการอบแห้ง ฝักถั่วลิสงประกอบด้วย 2 ส่วนคือ เมล็ดและเปลือกซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง และสัดส่วนของแต่ละอย่างในฝักถั่วลิสงไม่เท่ากัน จึงแยกคิดค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ด, เปลือก และรวมทั้งฝัก ส่วนของเมล็ดค่าพารามิเตอร์การอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิสูงมากกว่าที่ระดับอุณหภูมิต่ำ อาจเนื่องจากที่ระดับอุณหภูมิสูงนั้นอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เมล็ดซึ่งถูกหุ้มไว้ด้วยเปลือกและมีลักษณะเนื้อแน่นแข็งมีอุณหภูมิสูงด้วยช่วยให้การเคลื่อนที่ของความชื้นในเมล็ดดีขึ้น ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งจึงเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าเวลาการอบแห้งที่พบว่าที่ระดับอุณหภูมิสูง เวลาการอบแห้งเร็วขึ้น (ดูตารางที่ 5-6) ส่วนของเปลือกค่าพารามิเตอร์การอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน (ดูตารางที่ 5-16) อาจเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของเปลือกซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสลักษณะเป็นแผ่นบางมีรูพรุนและอยู่ภายนอกสัมผัสกับลมร้อนโดยตรง ความชื้นถ่ายเทได้สะดวก ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งฝักคล้ายกับของเมล็ด คือที่ระดับอุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากฝักประกอบด้วยสัดส่วนของเมล็ดมากกว่าเปลือก

6.2.1.3 คุณภาพการกะเทาะถั่วลิสง เมื่ออบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

ร้อยละการกะเทาะฝักถั่วลิสงที่ผ่านการอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-21) อาจเนื่องจากเหตุผลเดียวกับในข้อ 6.1.1

ร้อยละการแตกหักที่อบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-23) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของร้อยละการแตกหัก พบว่ากลุ่มค่าเฉลี่ยของร้อยละการแตกหักที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือที่ระดับอุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส, ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 คือที่ระดับอุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส (ดูตารางที่ 5-24) การแตกหักของเมล็ดที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงอัตราการกำจัดความชื้นเร็วเกินไป เมล็ดแข็งปริแตกได้ง่าย ผิวหุ้มเมล็ดกรอบฉีกขาดง่าย

6.2.2 การอบแห้งแบบทิ้งช่วง 8 สภาพการทดลอง

6.2.2.1 เวลาการอบแห้งของการอบแห้งแบบทิ้งช่วง 8 สภาพการทดลอง

ปัจจัย A (อุณหภูมิที่อบแห้ง 2 ระดับ 50 และ 55 องศาเซลเซียส), ปัจจัย B (เวลาให้ลมร้อน 2 ระดับ 1 และ 3 ชั่วโมง), ปัจจัย C (เวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็น 2 ระดับ 1 และ 3 ชั่วโมง) และอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัย มีผลทำให้เวลาการอบแห้งฝักถั่วลิสงลดจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะ และเวลาทั้งหมดในการอบแห้ง (รวมเวลาการอบแห้งฝักถั่วลิสงลดจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะ และเวลาการอบแห้งเมล็ดถั่วลิสงที่กะเทาะได้จนถึงระดับความชื้นที่เก็บได้อย่างปลอดภัย) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-26 และ 5-29) เมื่อดูผล mean effect ของปัจจัย A, B, C และอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยต่อเวลาการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะ (ดูตารางที่ 5-27) และเวลาทั้งหมดในการอบแห้ง (ดูตารางที่ 5-30) พบว่ามีผลต่อเวลาการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ จะเห็นได้ว่าเครื่องหมาย mean effect ของปัจจัย A, B และอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่อเพิ่ม

อุณหภูมิลมร้อนและเวลาให้ลมร้อนมีผลทำให้เวลาการอบแห้งลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 5.2.1.1 ที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้เวลาการอบแห้งลดลง เมื่อเวลาให้ลมร้อนนานขึ้น คือให้ถั่วลิสงอยู่ในช่วงที่มีศักยภาพการอบแห้งสูงเป็นเวลานานขึ้น เวลาการอบแห้งจึงลดลง ส่วนปัจจัย C มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นทำให้เวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากระหว่างเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็น อุณหภูมิลดต่ำลง ความชื้นสัมพัทธ์ของลมเพิ่มสูงขึ้น เป็นเหตุให้ศักยภาพการอบแห้งลดลง เวลาการอบแห้งจึงนานขึ้น อิทธิพลร่วมของปัจจัย AC, BC และ ABC มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการเพิ่มเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็น แสดงผลเสริม (synergistic effect) เมื่อร่วมกับการเพิ่มระดับอุณหภูมิและเวลาให้ลมร้อน เป็นผลทำให้เวลาการอบแห้งลดลง ทั้ง ๆ ที่การทิ้งช่วงให้ลมเย็นเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้เวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะขนาดของ mean effect (ค่า absolute ของ mean effect) พบว่าเรียงลำดับขนาดของปัจจัยต่าง ๆ และอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยได้ดังนี้ $\Delta C\ (8.5) > \Delta B\ (6.25) > \Delta BC\ (3.75) > \Delta ABC\ (3.25) > \Delta A\ (3) > \Delta AB\ (2.25) > \Delta AC\ (2)$ (จากตาราง 5-27) ขนาดของ mean effect ของอิทธิพลร่วม BC, ABC ไม่ใหญ่เกินกว่าขนาดของ mean effect ของปัจจัย C และ B ขนาดของ mean effect ของอิทธิพลร่วม AC ไม่ใหญ่เกินกว่าขนาดของ mean effect ของปัจจัย A แสดงว่าการเพิ่มเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นจะแสดงผลในทางเสริมคือทำให้เวลาการอบแห้งลดลงได้ เมื่อร่วมกับการเพิ่มเวลาให้ลมร้อนและเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง แต่ผลที่เสริมขึ้นมานี้ยังมีขนาดน้อยกว่าผลของปัจจัย C, B และ A เพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าการทิ้งช่วงให้ลมเย็นจะมีผลทำให้เวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ก็ตาม แต่เมื่อใช้ร่วมกับ การเพิ่มเวลาให้ลมร้อนและการเพิ่มอุณหภูมิจะแสดงผลเสริมช่วยให้เวลาการอบแห้งลดลง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ ข-6 และตารางที่ ข-11 ในภาคผนวก ข ซึ่งเป็นผลการทดลองเบื้องต้นของการอบแห้งแบบทิ้งช่วง โดยทิ้งช่วงพักหยุดให้ลมร้อนและมิได้ให้ลมเย็นด้วย จะเห็นได้ว่าเวลาการอบแห้งนานมาก และในระหว่างทิ้งช่วงพักหยุดให้ลมร้อนนี้ เกิดการควบแน่น (condense) ของไอน้ำเป็นหยดน้ำที่ผนังตู้อบและทำให้ถั่วเปียกขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ถั่วขึ้นราได้ถ้าอยู่ในสภาพเช่นนี้เป็นเวลานาน ดังนั้นในระหว่างทิ้งช่วงพักหยุดให้ลมร้อน จึงต้องให้ลมเย็นเพื่อเป็นการระบายอากาศชื้นออกไปป้องกันไม่ให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในตู้อบ ที่ผิวเปลือกถั่วจะแห้งแม้ว่าภายในเมล็ดจะยังมีความชื้นสูง เนื่องจากการให้ลมเย็นช่วยระบายอากาศชื้น จึงแสดงผลเสริมช่วยให้เวลาการอบแห้งลดลง

เมื่อเพิ่มเวลาให้ลมร้อนและอุณหภูมิ

ผลเวลาทั้งหมดในการอบแห้งแสดงแนวโน้มเช่นเดียวกับเวลาการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะด้วยเหตุผลเดียวกัน

6.2.2.2 ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของการอบแห้งแบบทิ้งช่วง 8 สภาพการทดลอง (เฉพาะช่วงการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะ)

ปัจจัย A, B, C มีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-32) เมื่อดูผล mean effect ของปัจจัย A, B, C ต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ด (ดูตารางที่ 5-33) พบว่ามีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เครื่องหมาย mean effect ของปัจจัย A, B เป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น, เวลาให้ลมร้อนนานขึ้นมีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดมีค่าสูงขึ้น ส่วนปัจจัย C มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่า เมื่อเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นนานขึ้นมีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดมีค่าต่ำลง

ในส่วนเปลือก ปัจจัย A, C และอิทธิพลร่วม BC มีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-53) เมื่อดูผล mean effect ของปัจจัย A, C และอิทธิพลร่วม BC ต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือก (ดูตารางที่ 5-36) พบว่ามีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เครื่องหมาย mean effect ของปัจจัย A เป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งมีค่าสูงขึ้น ปัจจัย C มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่อเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นนานขึ้น ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือกมีค่าต่ำลง เครื่องหมายของอิทธิพลร่วม BC เป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่า ถึงแม้เวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นนานขึ้น แต่ถ้าเวลาให้ลมร้อนนานขึ้นเช่นกัน ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือกจะมีค่าสูงขึ้น

สำหรับทั้งฝัก ปัจจัย A, B, C มีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งฝักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-38) เมื่อดูผล mean effect ของปัจจัย A, B, C ต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งฝัก (ดูตารางที่

5-39) พบว่ามีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เครื่องหมาย mean effect ของปัจจัย A, B เป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น, เวลาให้ลมร้อนนานขึ้นมีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งผักสูงขึ้น ส่วนปัจจัย C มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่อเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นนานขึ้นมีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งผักต่ำลง

ปัจจัย A, B, C มีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง (และเวลาการอบแห้งด้วย) โดยแสดงแนวโน้มให้เห็นผลของปัจจัยอย่างเด่นชัดว่าเมื่ออุณหภูมิสูง, เวลาให้ลมร้อนนาน ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดและทั้งผักมีค่าสูง (เวลาการอบแห้งสั้นลง) อาจเนื่องจากอัตราการอบแห้งขึ้นกับ 1) การกำจัดความชื้นออกไปจากผิว 2) การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในเมล็ดสู่ผิว การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในเมล็ดสู่ผิวโดยการแพร่ (diffusion) นั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันไอระหว่างภายในเมล็ดและผิว ในระหว่างช่วงต้น ๆ ของการอบแห้งที่ผิววัตถุยังมีความชื้นสูง การอบแห้งช่วงนี้จึงเป็นการกำจัดความชื้นที่ผิวออกไปซึ่งจะเกิดเป็นระยะเวลาสั้น ๆ แต่เมื่อความชื้นลดลงอัตราการอบแห้งถูกควบคุมโดยการต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเมล็ด ในขั้นนี้ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยให้การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในเมล็ดออกสู่ผิวดีขึ้น (อุณหภูมิมีผลต่อค่า mass diffusivity ซึ่งแฝงอยู่ในค่าพารามิเตอร์การอบแห้งแบบสมการ Arrhenius) [59, 69] การสัมผัสกับลมร้อนเป็นเวลานาน คือการคงสภาพให้ถั่วลิสงมีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งจึงสูงขึ้น ปัจจัย C คือการทิ้งช่วงให้ลมเย็นทำให้อุณหภูมิลดลง จึงเป็นเหตุให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดและทั้งผักลดลงด้วย เมื่อพิจารณาเฉพาะขนาดของ mean effect ของปัจจัย A, B และ C ต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดและค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งผัก พบว่าเรียงลำดับขนาดได้ดังนี้ ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดคือ $\Delta C\ (0.0117) > \Delta B\ (0.0103) > \Delta A\ (8.437 \times 10^{-3})$ (จากตารางที่ 5-33), ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของทั้งผักคือ $\Delta C\ (0.0118) > \Delta B\ (9.63 \times 10^{-3}) > \Delta A (8.63 \times 10^{-3})$ (จากตารางที่ 5-39) จะเห็นได้ว่าขนาดของปัจจัย C ใหญ่กว่าปัจจัย B และ A คือมีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดและผักมากกว่าปัจจัย B และ A โดยที่เครื่องหมายของปัจจัย C เป็นลบ (-) ซึ่งแสดงแนวโน้มว่ามีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดและทั้งผักลดลง ทั้งเครื่องหมายและขนาดของปัจจัย C บ่งชี้ว่ามีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง

ของเมล็ดและทั้งผักลดลง แสดงให้เห็นว่าเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นในการทดลองนี้อาจจะเป็นช่วงเวลาที่นานเกินไป ยังไม่ใช่ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบทิ้งช่วง เนื่องจากทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดและผักลดลงมากกว่าผลของเวลาการให้ลมร้อนและการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเมล็ดและทั้งผักเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาขนาดของ mean effect ของปัจจัย A, C และอิทธิพลร่วม BC ซึ่งมีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าเรียงลำดับได้ดังนี้ ΔA (0.0178) $> \Delta C$ (0.0169) $> \Delta BC$ (0.01605) (จากตารางที่ 5-36) จะเห็นได้ว่าขนาดของ mean effect ของอิทธิพลร่วม BC มีขนาดใกล้เคียงกับค่า mean effect ของปัจจัย C ซึ่งมีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แต่ใหญ่กว่าขนาดของ mean effect ของปัจจัย B ซึ่งมีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แต่ไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้การทิ้งช่วงให้ลมเย็นจะมีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือกลดลง แต่เมื่อร่วมกับการเพิ่มเวลาให้ลมร้อนจะแสดงผลเสริมทำให้ค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือกเพิ่มขึ้น การที่ปัจจัย B ไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์การอบแห้งของเปลือก อาจเนื่องจากเปลือกมีลักษณะเป็นแผ่นบางมีรูพรุนความชื้นเริ่มต้นสูง อยู่ภายนอกสัมผัสกับลมร้อนโดยตรง ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว

6.2.2.3 คุณภาพการกะเทาะถั่วลิสงเมื่ออบแห้งแบบทิ้งช่วง 8 สภาพการทดลอง

6.2.2.3.1 ร้อยละการกะเทาะ

ปัจจัย B, อิทธิพลร่วม BC, ABC มีผลทำให้การกะเทาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-41) เมื่อดูผล mean effect ของปัจจัย B ต่อร้อยละการกะเทาะ (ดูตารางที่ 5-42) พบว่ามีผลต่อร้อยละการกะเทาะอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ปัจจัย B มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่อเวลาให้ลมร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละการกะเทาะลดลง อิทธิพลร่วม BC และ ABC มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนหรือเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นร่วมกับการให้ลมร้อนเป็นเวลานานร้อยละการกะเทาะเพิ่ม

6.2.2.3.2 ร้อยละการแตกหัก

ปัจจัย A, B และอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยมีผลทำให้ร้อยละการแตกหักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-44) เมื่อดูผล mean effect ของปัจจัย A, B และอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยต่อร้อยละการแตกหัก (ดูตารางที่ 5-45) พบว่ามีผลต่อร้อยละการแตกหักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปัจจัย A มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นร้อยละการแตกหักลดลง เครื่องหมายของปัจจัย B เป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่อเวลาให้ลมร้อนนานขึ้น ร้อยละการแตกหักเพิ่มขึ้น อิทธิพลร่วม AB มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการอบแห้ง ร้อยละการแตกหักเพิ่ม อิทธิพลร่วม AC, BC, ABC มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิ, เวลาให้ลมร้อน และเวลาทั้งช่วงให้ลมเป็นร้อยละการแตกหักลดลง

6.3 การทดลองหาภาชนะบรรจุและจุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุ เพื่อรักษาคุณภาพของถั่วลิสง

6.3.1 กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)

ภาชนะบรรจุและจุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุไม่มีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-47)

วิธีการอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ มีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-48) ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่ากลุ่มอุณหภูมิที่ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-47) คือ กลุ่มแรกปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยเป็นลำดับ 1 และ 2 ที่ระดับอุณหภูมิ 45 และ 40 องศาเซลเซียส กลุ่มที่ 2 ปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยเป็นลำดับ 3, 4 และ 5 ที่ระดับอุณหภูมิ 50, 35 และ 55 องศาเซลเซียส

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันเป็นดัชนีที่บ่งบอกคุณภาพรวม (overall quality) ของน้ำมัน [99] เนื่องจากเป็นการวัดว่ากลีเซอไรด์ (glyceride) ในน้ำมันสลายไปด้วย lipase เพิ่มขึ้นเท่าใด การสลายตัวนี้เกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความชื้นสูง [100] ภาชนะบรรจุและจุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุไม่มีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อาจเนื่องจากถั่วลิสงที่เก็บนั้นอบแห้งจนเหลือความชื้นต่ำ ถึงแม้ว่าจะเก็บในสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง (ร้อยละ 85) อุณหภูมิห้องและระดับความชื้นของถั่วลิสงเพิ่มขึ้นบ้างก็ตาม (ดูตารางที่ 5-51) แต่ก็ยังคงอยู่ในระดับต่ำ ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงไม่เปลี่ยนแปลง แต่วิธีอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ มีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยที่ที่ระดับอุณหภูมิสูงปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าสูงอาจเนื่องจากความร้อนช่วยเร่งการทำงานของเอนไซม์ในช่วงที่ความชื้นยังอยู่ในระดับสูง (ช่วงเริ่มอบแห้ง) ส่วนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสปริมาณกรดไขมันอิสระสูง อาจเนื่องจากเวลาการอบแห้งนาน อัตราการลดความชื้นช้า เมล็ดมีความชื้นอยู่ในระดับสูงเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียสปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง (50 และ 55 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิต่ำ (35 องศาเซลเซียส) อาจเนื่องจากที่ระดับอุณหภูมินี้ไม่สูงพอที่จะเร่งการทำงานของเอนไซม์ในช่วงที่มีความชื้นสูง และเวลาการอบแห้งเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เมล็ดจึงมีความชื้นอยู่ในระดับสูงเป็นเวลาไม่นาน

ส่วนวิธีการอบแห้งแบบทิ้งช่วงพบว่าปัจจัย B, C อิทธิพลร่วม AB, BC และ ABC มีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-50) จากเครื่องหมายของค่า mean effect ของปัจจัย B เป็นลบ (-) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าปัจจัย B (เวลาให้ลมร้อน) มีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเมื่อเวลาให้ลมร้อนนานขึ้น ปัจจัย C มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่ามีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาให้ลมเย็น อิทธิพลร่วม AB, BC และ ABC มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการเพิ่มเวลาให้ลมร้อนร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้ง และเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็น จะแสดงผลเสริมกันทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาขนาดของ mean effect ของปัจจัย B, C และอิทธิพลร่วม BC, AB และ ABC พบว่าเรียงลำดับได้ดังนี้ $\Delta B\ (0.035) > \Delta C\ (0.022) > \Delta BC\ (0.014) > \Delta AB = \Delta ABC\ (0.013)$ (จากตารางที่ 5-50) จะเห็นได้ว่าขนาดของ mean effect ของอิทธิพลร่วม BC, AB และ ABC ไม่ใหญ่กว่าขนาดของ mean effect ของปัจจัย B และ C แสดงว่าผลเสริมของปัจจัย B ต่อ C และ A ในอิทธิพลร่วม BC, AB และ ABC มีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ แต่ไม่มีผลมากเท่าปัจจัย B และ C การที่ปัจจัย B มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) คือการเพิ่มเวลาให้

ลมร้อน มีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง อาจเนื่องจากการเพิ่มเวลาให้ลมร้อนทำให้เวลาการอบแห้งลดลงนั่นคือถั่วลิสงจะมีความชื้นอยู่ในระดับสูงซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เป็นเวลาไม่นาน ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงเกิดขึ้นน้อย ปัจจัย C มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) คือการเพิ่มเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นมีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นทำให้เวลาการอบแห้งนานขึ้น ถั่วลิสงจะมีความชื้นอยู่ในระดับสูงซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เป็นเวลานาน ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงเกิดขึ้นได้มาก อิทธิพลร่วม BC, AB และ ABC มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงแนวโน้มว่ามีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น การที่ปัจจัย B เพียงอย่างเดียวแสดงเครื่องหมายเป็นลบ (-) แต่เมื่อร่วมกับปัจจัย C และ A กลับแสดงผลเสริมทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากถึงแม้จะเพิ่มอุณหภูมิและเวลาให้ลมร้อน แต่ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นนี้ยังไม่นานพอที่จะทำให้ความชื้นลดลงอยู่ในระดับต่ำได้ ก็เป็นช่วงเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นที่ระดับความชื้นจะไม่ลดลงมาก ดังนั้นถั่วลิสงจะมีความชื้นอยู่ในระดับสูงเป็นเวลานานเช่นกัน ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงเพิ่มขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันอิสระจากทุกวิธีการอบแห้งและวิธีการเก็บในการทดลองนี้มีค่าไม่สูงเกินกว่าร้อยละ 2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานของมาเลเซีย [101] และอินเดีย [102] ยอมให้มีกรดไขมันอิสระในถั่วลิสงเกรด 1 สำหรับสกัดน้ำมันได้ไม่เกินร้อยละ 2

6.3.2 ความชื้นที่เพิ่มขึ้น

ภาชนะบรรจุและจุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุมีผลทำให้ความชื้นที่เพิ่มขึ้นของถั่วลิสงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-53) เมื่อเปรียบเทียบที่จุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุเดียวกันโดยไม่คำนึงถึงวิธีการอบแห้ง พบว่าไม่ว่าจุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุจะเป็นแบบธรรมดาหรือแบบสูญญากาศ ค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นของถั่วลิสงที่บรรจุในถุงโพลีโพรพีลีนน้อยกว่าที่บรรจุในถุงโพลีเอทธิลีน เมื่อเปรียบเทียบที่ภาชนะบรรจุเดียวกันโดยไม่คำนึงถึงวิธีการอบแห้ง พบว่าไม่ว่าจะเป็นถุงโพลีโพรพิลีน หรือโพลีเอทธิลีน ค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นของถั่วลิสงในจุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุแบบธรรมดามากกว่าแบบสูญญากาศ (ดูตารางที่ 5-54) การเพิ่มขึ้นของความชื้นเนื่องจากเก็บถั่วลิสงในสภาวะการเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 3 เดือน ความชื้นจากบรรยากาศที่เก็บจะซึมผ่านถุงเข้าไปได้บ้าง ถั่วลิสงที่มีความชื้นต่ำจะดูดความชื้นไว้เพื่อให้อยู่ในสมดุลย์กับสภาพแวดล้อม

ความชื้นจึงเพิ่มขึ้น ความชื้นของถั่วลิสงที่บรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนเพิ่มขึ้นมากกว่าที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน อาจเนื่องจากค่าการซึมผ่านของความชื้นสำหรับถุงโพลีเอทธิลีนมากกว่าถุงโพลีโพรพิลีน (ดูตารางที่ 3-1) ที่จุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุแบบธรรมดา ความชื้นของถั่วลิสงเพิ่มขึ้นมากกว่าแบบสูญญากาศ อาจเนื่องจากการบรรจุแบบสูญญากาศดูดเอาอากาศภายในถุงออก ถั่วลิสงจึงถูกอัดแน่นยึดติดกัน และถุงพลาสติคจะแนบยึดกับถั่วลิสง จึงมีช่องว่าง (head space) ภายในถุงน้อย ความจุในการรับความชื้นเพิ่มในช่องว่างน้อย ๆ มีจำกัดและพื้นที่การถ่ายเทความชื้นจากช่องว่างภายในถุงสู่เมล็ดถั่วก็จำกัดกว่าถุงที่บรรจุแบบธรรมดา จึงต้องใช้เวลานานกว่าที่ความชื้นจากบรรยากาศภายนอกจะซึมผ่านเข้าไปในถุงให้ถั่วลิสงดูดความชื้นไว้เพื่ออยู่ในสมดุลย์ และสังเกตได้ว่าบางถุงจะสูญเสียสภาพสูญญากาศจนหมด ส่วนใหญ่จะสูญเสียสภาพสูญญากาศบ้าง (ถุงเริ่มหลวมเล็กน้อยขณะที่ตอนบรรจุใหม่ ๆ รัดแน่น)

แต่อย่างไรก็ตามค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นของถั่วลิสงจากทุกวิธีการเก็บ ในการทดลองนี้ซึ่งมีระยะเวลาเก็บนาน 3 เดือน ยังไม่สูงเกินกว่าระดับที่จะเก็บได้อย่างปลอดภัย คือร้อยละ 7

6.3.3 ความงอกของเมล็ด (ร้อยละ)

ภาชนะบรรจุมีผลทำให้ความงอกของเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-56) และค่าความงอกของเมล็ดที่บรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนสูงกว่าที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนเล็กน้อย (ดูตารางที่ 5-57) ส่วนจุลสภาวะภายในภาชนะไม่มีผลทำให้ความงอกของเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-56)

วิธีการอบแห้งแบบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ มีผลทำให้ความงอกของเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ดูตารางที่ 5-58) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความงอกของเมล็ด พบว่ากลุ่มอุณหภูมิที่ค่าเฉลี่ยความงอกของเมล็ดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-59) คือที่ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 คือที่ 40 และ 35 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงสุดในการอบแห้งคือ 55 องศาเซลเซียส ค่าความงอกของเมล็ดต่ำที่สุด อาจเนื่องจากถั่วลิสงที่นำมาอบแห้งมีความชื้นสูง เมื่อนำมาอบที่อุณหภูมิสูงทันที เมล็ดจึงได้รับความเสียหาย ความงอกลดลง [103] จะเห็นได้ว่าค่าความงอกของเมล็ดจากทุกวิธีอบแห้งในการทดลองนี้มีค่าเกินกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป (ยกเว้นที่ วิธีอบแห้งแบบทั้งช่วงที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลาให้ลมร้อน

3 ชม. เวลาทั้งช่วงให้ลมเย็น 3 ชม., ดูตารางที่ 5-55) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมล็ดได้รับการดูแลปฏิบัติรักษาในระหว่างการอบแห้ง, กะเทาะเปลือก, คัดเลือกเอาเมล็ดที่ได้รับความเสียหายออก และบรรจุลงภาชนะบรรจุเป็นอย่างดี อุณหภูมิในการเก็บรักษาก็ไม่สูงมากจนทำให้ biological activity ต่าง ๆ ของเมล็ด เช่น การหายใจสูงอันจะทำให้เมล็ดสูญเสียความงอก และความชื้นของเมล็ดซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ เมล็ดที่มีความชื้นต่ำ ประมาณร้อยละ 8 สามารถเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 32 องศาเซลเซียสได้อย่างปลอดภัย แต่ถ้าความชื้นสูงกว่านี้ต้องเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสเท่านั้น ถ้าลดความชื้นของเมล็ดลงอีกร้อยละ 1 จะสามารถเก็บเมล็ดไว้ได้นานอีก 1 เท่าตัว โดยที่ความงอกเท่าเดิม [103] ความชื้นของเมล็ดที่เก็บในการทดลองนี้ทั้งก่อนและหลังการเก็บอยู่ในระดับต่ำ (ดูตารางที่ 5-55) ร้อยละความงอกของเมล็ดจึงค่อนข้างสูง ลักษณะเมล็ดที่งอกปรากฏดังรูป ก-4 ภาคผนวก ก

ส่วนวิธีการอบแห้งแบบทิ้งช่วงพบว่าปัจจัย A, B, C และอิทธิพลร่วมทุกค่าของทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีผลต่อความงอกของเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูตารางที่ 5-60) เครื่องหมาย mean effect ของทุกปัจจัยและอิทธิพลร่วมทั้งหมดเป็นลบ (-) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิ, เวลาให้ลมร้อน, และเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นมีผลทำให้ความงอกของเมล็ดลดลง เมื่อพิจารณาขนาดของ mean effect ของปัจจัย A, B, C และอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยพบว่าเรียงลำดับได้ดังนี้ ΔB (7.31) $> \Delta AC$ (6.73) $> \Delta AB$ (5.69) $> \Delta A$ (4.59) $> \Delta ABC$ (4.44) $> \Delta C$ (2.78) $> \Delta BC$ (2.68) ขนาดของ mean effect ของอิทธิพลร่วม AC, AB มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของ mean effect ของปัจจัย A และ C ขนาดของ mean effect ของอิทธิพลร่วม ABC ใหญ่กว่าขนาดของ mean effect ของปัจจัย C แสดงว่าผลเสริมกันของปัจจัย A, B และ C คือการเพิ่มอุณหภูมิ, เวลาให้ลมร้อน และเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็น มีผลทำให้ความงอกของเมล็ดลดลงได้มากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิและการเพิ่มเวลาทิ้งช่วงให้ลมเย็นเพียงอย่างเดียว ขนาดของ mean effect ของปัจจัย B มีขนาดใหญ่ที่สุดและมีเครื่องหมายเป็นลบ (-) นั่นคือการเพิ่มเวลาให้ลมร้อนมีผลทำให้ความงอกของเมล็ดลดลงมากที่สุด

แต่อย่างไรก็ตามค่าความงอกของเมล็ดจากทุกวิธีการอบแห้งและวิธีการเก็บ ในการทดลองนี้มีค่าสูงเกินกว่าร้อยละ 70 ซึ่งเป็นมาตรฐานขั้นต่ำ ของมาตรฐานคุณภาพเมล็ดพันธุ์กรมส่งเสริมการเกษตร [104]

6.3.4 สารพิษอะฟลาทอกซิน

สิ่งที่ต้องการทราบจากการทดลองนี้อย่างหนึ่งคือ ดูผลของวิธีอบแห้งแบบต่าง ๆ และการเก็บรักษาถั่วลิสง (บรรจุในภาชนะบรรจุโพลีเอทธิลีน และโพลีโพรพิลีน, จุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุแบบธรรมดาและแบบสูญญากาศ ในสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้อง, ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85) ว่าจะสามารถป้องกันการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่นำมาทดลองซึ่งมีเชื้อราต่าง ๆ รวมทั้งเชื้อราที่สามารถผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินปนเปื้อนอยู่แล้วในธรรมชาติได้หรือไม่ ผลการวิเคราะห์อะฟลาทอกซินในทุกตัวอย่างที่แบ่งไปวิเคราะห์ตามแผนงานทดลองแบบ fractional factorial design พบว่าตรวจไม่พบ จากข้อ 2.1 จะทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อราบนถั่วลิสงและทราบสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านี้ วิธีอบแห้งและเก็บรักษาถั่วลิสงในการทดลองนี้เป็นการป้องกันการเกิดสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญ และผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อราบนถั่วลิสง ทั้งสิ้นคือ เริ่มต้นจากถั่วลิสงสดได้รับการอบแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบต่าง ๆ จนเหลือความชื้นที่เหมาะสมแก่การกะเทาะในเวลาอันรวดเร็วไม่เกิน 4 วัน (ดูตารางที่ ข-1 ถึง ข-10 และ ข-12 ถึง ข 27 ภาคผนวก ข) ในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนถึงแม้ว่าถั่วลิสงจะมีความชื้นอยู่ในระดับสูง แต่ลมร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา และจะทำให้ความชื้นของถั่วลิสงลดลงเรื่อย ๆ และการอบแห้งแบบทิ้งช่วงในระยะทิ้งช่วงให้ลมเย็นความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นบ้าง แต่ลมเย็นพัดเอาอากาศชื้นออก อากาศจึงมีการถ่ายเทอยู่ตลอดเวลา จึงไม่มีหยดน้ำซึ่งเกิดจากการควบแน่น (condense) ของไอน้ำภายในเครื่องอบแห้งอยู่บนถั่วลิสง ซึ่งจะเป็นจุดที่มีความชื้นสูงพอที่เชื้อราจะเจริญได้ และระยะทิ้งช่วงให้ลมเย็นในการทดลองนี้นานที่สุดเพียง 3 ชั่วโมงก็ได้รับลมร้อนอีก จึงไม่น่าจะเป็นเวลานานพอที่เชื้อราจะเจริญจนผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินได้ เมื่ออบแห้งจนเหลือความชื้นในระดับที่เหมาะสมแก่การกะเทาะแล้วกะเทาะเปลือก, คัดเลือกเอาเมล็ดที่ได้รับความเสียหายออกนำเมล็ดมาอบแห้งต่ออย่างรวดเร็ว (ถ้าไม่สามารถทำทันใน 1 วัน ต้องนำถั่วลิสงมาผึ่งลมให้มีการระบายอากาศอย่างดี ถ้าเก็บไว้ในถุงหรือไม่จัดให้มีการระบายอากาศอย่างดีแล้ว จะขึ้นราที่บริเวณที่ได้รับความเสียหาย เช่น ผิวถลอกบริเวณที่หัก และบริเวณ radicle (ดูรูปที่ ก-5 ภาคผนวก ก) ในเวลา 2 วัน ถั่วลิสงที่จะเก็บจึงมีแต่เมล็ดที่ได้รับการคัดเลือกแล้วและอบแห้งจนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 5 - 6 จึงบรรจุใส่ภาชนะบรรจุถุงโพลีเอทธิลีน และโพลีโพรพิลีน จุลสภาวะภายในภาชนะบรรจุ

แบบธรรมดาและแบบสูญญากาศ สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 เป็นเวลา 3 เดือนแม้ว่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นบ้างแต่ก็ยังคงอยู่ในระดับต่ำ (ดูตารางที่ 5-55) ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าถั่วลิสงยังคงอยู่ในสภาพดี ผิวหุ้มเมล็ดเป็นสีชมพูอ่อนไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง

6.4 การศึกษาสภาพการใช้งานของเครื่องอบแห้งถั่วลิสงที่ประกอบขึ้น

เครื่องอบแห้งถั่วลิสงที่ประกอบขึ้นนี้เป็นแบบการให้ความร้อนโดยอ้อม (indirect heat) โดยใช้เศษเนื้อเยื่อทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำให้ร้อนแล้วปั๊มน้ำร้อนสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในที่นี้คือเรดิเอเตอร์ ใช้พัดลมพัดลมเป็นผ่านเรดิเอเตอร์เพื่อรับความร้อนจากน้ำร้อน ได้ลมร้อนที่แห้งและสะอาดไปอบแห้งถั่วลิสง น้ำซึ่งสูญเสียความร้อนไปบางส่วนกลับคืนสู่หม้อต้มน้ำรับความร้อนจากเชื้อเพลิงใหม่ เครื่องอบแห้งนี้กระทำในระดับห้องปฏิบัติการทดลองเพื่อศึกษาสภาพการทำงานของระบบนี้สมดุลย์พลังงานของระบบปรากฏในภาคผนวก ง-2 จากรูปที่ 5-1 ซึ่งแสดงระดับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าและออกจากเรดิเอเตอร์, อุณหภูมิของลมร้อนที่ได้และอุณหภูมิของลมร้อนจากเครื่องอบแห้งแบบเป็นชั้น จะเห็นได้ว่าระดับอุณหภูมิของลมร้อนที่ได้จากเครื่องอบแห้งถั่วลิสงนี้ค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญในการอบแห้งถั่วลิสง เนื่องจากความแปรผันของอุณหภูมิมีผลต่อคุณภาพของถั่วลิสง การควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งนี้สำคัญอยู่ที่การเติมเชื้อเพลิงให้อัตราการเผาไหม้สม่ำเสมอเพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำให้สม่ำเสมอคงที่ เพราะว่าการทำงานของส่วนประกอบอื่น ๆ คือ ปั๊มน้ำ, พัดลม และประสิทธิภาพของเรดิเอเตอร์คงที่ และส่วนที่ช่วยปรับระดับอุณหภูมิของลมร้อนไม่ให้สูงหรือต่ำเกินไป คือที่ช่องปรับปริมาณลมเป็นเข้าไปเจือจาง ในกรณีที่ลมร้อนอุณหภูมิสูงก็ปรับให้ลมเป็นเข้าไปมาก ถ้าอุณหภูมิต่ำก็ปรับให้ลมเป็นเข้าไปน้อย เครื่องอบแห้งนี้สามารถปรับอุณหภูมิโดยช่องปรับปริมาณลมนี้ได้ประมาณ 1 - 2 องศาเซลเซียส ระบบนี้จึงน่าจะใช้ได้ดีสำหรับการอบแห้งถั่วลิสง เนื่องจากใช้เชื้อเพลิงราคาถูก ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้โดยควบคุมการเติมเชื้อเพลิงให้สม่ำเสมอ และโดยปรับปริมาณลมผ่านเรดิเอเตอร์ ลมร้อนที่ได้สะอาดมีประสิทธิภาพดี (มีความชื้นน้อย) เหมาะที่จะใช้อบแห้งถั่วลิสงในเวลาที่สภาพภูมิอากาศไม่อำนวย ขาดแคลนพลังงานแสงอาทิตย์ แทนที่จะปล่อยให้ถั่วลิสงมีความชื้นสูง ขึ้นรา, งอก และเน่า เป็นเหตุให้ราคาต่ำ

เนื่องจากเครื่องอบแห้งที่ประกอบขึ้นนี้อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการทดลอง เพื่อศึกษาสภาพ

การทำงานของเครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาประกอบมีขนาดเล็กและไม่ใช่ราคาที่แท้จริง จึงไม่สามารถประเมินราคาค่าอบแห้งเชิงเศรษฐศาสตร์ได้ หากต้องการขยายระบบนี้ออกไปใช้งานควรคำนึงถึง

ก. พลังงานที่ต้องใช้ในการอบแห้งถั่วลิสงแต่ละครั้ง (ดูภาคผนวก ง-3)

ข. การหุ้มฉนวนของเตาและหม้อน้ำ รวมทั้งท่อส่งน้ำร้อน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ประสิทธิภาพของเตา และของเรดิเอเตอร์ควรมีค่าสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง