บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย

จากการเก็บตัวอย่างถั่วเน่าที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป สามารถทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียสร้างสปอร์ได้ทั้งหมด 56 ไอโซเลต โดยไอโซเลต MCG8 ที่คัดแยกได้จากตัวอย่างถั่วเน่าของกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตถั่วเน่า อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ มีความสามารถในการสร้างเอนไซม์โปรติเอสสูงที่สุด โดยมีขนาดของวงใสบนอาหาร skim milk agar เท่ากับ 421.35 mm^2 ในขณะที่ไอโซเลต MHS1 ที่คัดแยกได้จากถั่วเน่าแผ่นจาก จ.แม่ฮ่องสอน และไอโซเลต KMB2 ที่คัดแยกได้จากตัวอย่างถั่วเน่าของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านกิ่วมื่น อ.ป่าซาง จ.ลำพูน สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคในทางเดินอาหารของคน คือ *B. cereus* TISTR 687 (10.83 mm และ 11.16 mm ตามลำดับ) และ *Staphylococcus aureus* TISTR 517 (18.33 mm และ 20.50 mm ตามลำดับ) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อในกลุ่มของ *Bacillus* spp. ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคในทางเดินอาหารของคนบางชนิด พบว่า ไอโซเลต MHS1 และ KMB2 สามารถสร้างวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Agar well diffusion ได้มากกว่าเชื้อ *B. subtilis* B96 (15.75 mm) ของ กนกศรี (2550) และ *B. brevis* M6 (16.00 mm) ของ Yilmaz *et al.* (2006) และเมื่อนำเชื้อแบคทีเรียสร้างสปอร์ทั้ง 3 ไอโซเลต คือ MCG8, MHS1 และ KMB2 มาศึกษาคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการตามวิธีของ Norris *et al.* (1973) พบว่าเป็นเชื้อ *B. subtilis* ทั้ง 3 ไอโซเลต โดยผลการทดสอบใกล้เคียงกับรายงานของ Nagal and Jain (2010) ซึ่งเชื้อ *B. subtilis* มีคุณสมบัติทางชีวเคมีโดยให้ผลบวกในการทดสอบแคตาเลส Voges-Proskauer และการย่อยแป้ง ในขณะที่ให้ผลลบในการเจริญในสภาพไร้อากาศ (คนึงกานต์ และ อัญชลี, 2543)

เมื่อนำเชื้อ *B. subtilis* MCG8, MHS1, KMB2 และ *B. megaterium* B39 ที่มีความสามารถในการผลิตวิตามินบีสิบสองสูง (กนกศรี, 2550) มาศึกษาอัตราส่วนของเชื้อผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตถั่วเน่าโดยการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม โดยใช้เชื้อผสมปริมาณ 1.5 x 10^7 cfu/g wet weight ลงในถั่วเหลืองต้มสุกที่ทำการแช่น้ำเป็นเวลา 16 ชั่วโมง และผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปหมักที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นมาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้น (ปริมาณโปรตีน วิตามินบีสิบสอง ขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค จำนวนเชื้อที่มีชีวิตทั้งหมด และค่า pH) พบว่า อัตราส่วนของเชื้อผสมที่ใช้ผลิตถั่วเน่ามีความสัมพันธ์กับขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* และค่า pH ของ

ถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่า (adj R^2) เท่ากับ 0.6376 และ 0.5297 ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* และค่า pH ของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นเป็นผลมาจากอัตราส่วนของเชื้อผสมที่ใช้คิดเป็น 63.76 และ 52.97% ตามลำดับ และสามารถสรุปเป็นสมการการถดถอยเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองดังกล่าวเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเชื้อผสมที่เป็นหัวเชื้อในการผลิตถั่วเน่าได้ อย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีสารสกัดจากถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นที่สามารถสร้างวงใสยับยั้งเชื้อก่อโรค *B. cereus* ได้ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสารที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรค *B. cereus* มีการออกฤทธิ์น้อยเนื่องจากใช้สภาพการเพาะเลี้ยงในถั่วเหลือง ซึ่งแตกต่างจากการใช้ nutrient broth ในการทดสอบในขั้นตอนการคัดแยกเชื้อ โดย Motta and Brandelli (2008) ได้รายงานว่าอุณหภูมิ ค่า pH และชนิดของอาหารที่ใช้มีผลกระทบต่อการสร้างสารต้านการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (bacteriocins) ของ *Bacillus* sp. P34 ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่า pH ของถั่วเน่าเกี่ยวข้องโดยตรงกับเชื้อในกลุ่มของ *Bacillus* ใช้โปรตีนที่มีอยู่ในถั่วเหลือง และปลดปล่อยกรดอะมิโน และสารประกอบแอมโมเนียออกมาอันมีผลทำให้ pH ของถั่วเน่ามีค่าสูงขึ้น (Leejeerajumnean, 2003; Sarkar *et al.*, 1993) อย่างไรก็ตามพบว่าอัตราส่วนของเชื้อผสมที่ใช้ในครั้งนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน วิตามินบีสิบสอง และจำนวนเชื้อที่มีชีวิตทั้งหมดของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลการทดลองการแปรผันอัตราส่วนของเชื้อผสมที่ได้สามารถสังเกตได้ว่า เชื้อ *B. subtilis* MCG8 มีผลทำให้ปริมาณโปรตีน และวิตามินบีสิบสองสูงขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนของเชื้อมากขึ้น แต่เชื้อดังกล่าวไม่สามารถสร้างวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* ได้ ในขณะที่เชื้อ *B. subtilis* MHS1 และ KMB2 สามารถสร้างวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* ได้ แต่กลับพบว่าเมื่ออัตราส่วนเชื้อทั้งสองมากขึ้นทำให้วิตามินบีสิบสองของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นลดลง เป็นต้น จึงต้องมีการวิเคราะห์อัตราส่วนของเชื้อผสมที่เหมาะสมที่ทำให้ถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นมีปริมาณโปรตีน วิตามินบีสิบสอง และขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* ที่สูงทั้งสามด้าน และทำการทดสอบอัตราส่วนของเชื้อผสมดังกล่าวในการผลิตถั่วเน่า ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนของเชื้อผสมที่เหมาะสมคือ Opt_{mixed3} ที่มีการผสมเชื้อ *Bacillus* spp. MCG8 (13%), MHS1 (64%), KMB2 (15%) และ B39 (8%) เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนและวิตามินบีสิบสองสูงที่สุดของอัตราส่วนของเชื้อผสมที่ทำนายได้ โดยถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นมีปริมาณโปรตีน (306.99 mg/g wet weight) วิตามินบีสิบสอง (3.66 ng/g wet weight) และมีขนาดของวงใสของสารสกัดจากถั่วเน่าต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* (14.67 mm) และใช้อัตราส่วนของเชื้อผสมที่เหมาะสมนี้ในการศึกษาต่อไป สำหรับการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมการหมัก เช่น Zhou *et al.* (2007) ได้ทำการวิเคราะห์หาสูตรการผสมเชื้อที่เหมาะสมใน Tibetan kefir พบว่าอัตราส่วนของเชื้อผสมที่ใช้ในการหมัก มีผล

ต่อการเปลี่ยนแปลงของ lactate, diacetyl, ethanol และ CO_2 นอกจากนี้ Navarrete-Bolanos *et al.* (2003) ได้ใช้ศึกษาอัตราส่วนของเชื้อจุลินทรีย์ผสมที่ใช้ในการหมักดอกดาวเรือง (Marigold flower) พบว่า อัตราส่วนของเชื้อผสมที่ใช้ในการหมักมีผลต่อค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส และแซนโทรฟิลล์ (Xantrophylls) ในระหว่างการหมักอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาปัจจัยด้านการผลิตที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตถั่วเน่า โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ตามวิธีการศึกษาของ Oskouie *et al.* (2007) โดยปัจจัยด้านการผลิตถั่วเน่าที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย เวลาที่ใช้แช่ถั่วเหลืองก่อนการต้ม เวลาที่ใช้ต้มถั่วเหลือง ปริมาณเกลือที่เติมในระหว่างการหมัก อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก และระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งระดับของปัจจัยเหล่านี้ได้มาจากการศึกษาถั่วเหลืองหมัก (Dakwa *et al.*, 2005; Omafuvbe, 2006; Suppadit *et al.*, 2005; Tamang and Nikkuni, 1998) โดยทำการแปรผันระดับของปัจจัยด้านการผลิต แล้วจึงนำมาใส่เชื้อผสมตามอัตราส่วนที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้ (Opt_{mixed3}) ปริมาณ 1.5 x 10^7 cfu/g wet weight แล้วนำมาหมักที่อุณหภูมิและระยะเวลาตามแบบแผนการทดลองที่ได้วางไว้ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้น ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักมีอิทธิพลสูงที่สุดโดยมีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีน (50.01%) ขนาดวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* (67.22%) จำนวนเชื้อที่มีชีวิตทั้งหมด (42.88%) และค่า pH (48.11%) ของปัจจัยด้านการผลิตทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้หมักมีความสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า เวลาที่ใช้แช่ถั่วเหลืองก่อนการต้ม มีอิทธิพลต่อปริมาณวิตามินบีสิบสองสูงที่สุด (42.41%) ของปัจจัยด้านการผลิตทั้งหมด โดยในระหว่างการแช่ถั่วเหลืองนั้น วิตามินและสารที่มีคุณค่าทางอาหารจะแพร่เข้าสู่เนื้อถั่วเหลืองซึ่งจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น นอกจากนี้ควรจะมีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องซึ่งจะช่วยทำให้โปรตีนในถั่วเหลืองสามารถย่อยสลายได้ดีขึ้น จะช่วยลดเวลาในการผลิตลงได้ (Bayram *et al.*, 2004)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยด้านการผลิตกับคุณลักษณะของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้น ปัจจัยด้านการผลิตถั่วเน่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ ปริมาณโปรตีน ประกอบไปด้วย เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วเหลือง อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก และระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก ในขณะที่ปัจจัยด้านการผลิตที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วเหลือง ปริมาณเกลือที่เติมในระหว่างการหมัก และอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักถั่วเน่า และปัจจัยด้านการผลิตที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า pH คือ เวลาที่ใช้แช่ถั่วเหลืองก่อนการต้ม ปริมาณเกลือที่เติมในระหว่างการหมัก อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก และระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก โดยมีค่า adj. R2 ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีน (0.6846) ขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* (0.7391) และค่า pH (0.9895) ซึ่งจากการศึกษาของ Omafuvbe (2006) พบว่าการเติมเกลือ 1% ในระหว่างการหมัก daddawa โดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ของ *B. subtilis* สายพันธุ์ SDA3 สามารถเพิ่มอัตรา

การเจริญของเชื้อ ช่วยส่งเสริมการย่อยสลายโปรตีนในถั่วเหลือง ได้มากกว่าการทดลองที่ไม่ได้เติมเกลืออย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างจากผลของปริมาณเกลือที่เติมในระหว่างการหมักในการศึกษาครั้งนี้ที่ไม่พบว่าปริมาณเกลือที่เติมในระหว่างการหมักสามารถส่งเสริมการทำงานของเชื้อผสมในการย่อยสลายโปรตีนให้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ Krier *et al.* (1998) ได้รายงานว่า อุณหภูมิและค่า pH มีความสำคัญอย่างมากต่อการผลิตสารต้านการเจริญของเชื้อแบคทีเรียของเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *L. curvatus* นอกจากนี้สุมณฑา (2545) ได้รายงานว่าเกลือแกง (NaCl) มีอิทธิพลร่วมกับ pH ในการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* โดยการเติมเกลือแกงมีผลทำให้ *S. aureus* เจริญเติบโตได้ในช่วงที่ค่า pH แคบลง และ Bayram *et al.* (2004) ได้รายงานว่าเวลาและอุณหภูมิที่ใช้แช่ถั่วเหลืองมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของน้ำที่ใช้แช่ถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า pH ของน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ถั่วเหลืองมากขึ้น เนื่องจากการปลดปล่อยสารที่มีคุณสมบัติเป็นกรดในถั่วเหลืองลงสู่น้ำมากขึ้น และอุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวเร็วขึ้น

ผลการศึกษาปัจจัยด้านการผลิตที่มีผลต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นทั้ง 5 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม โดยนำถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นไปแปรรูปเป็นถั่วเน่าย่าง ทำการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ และให้คะแนนความชอบแบบ 9-hedonic scales (Terlabie *et al.*, 2006) ซึ่งพบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่ถั่วเหลืองก่อนนำไปต้มมีอิทธิพลทางด้านคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสสูงที่สุด โดยมีผลต่อ ลักษณะปรากฏ (44.61%) สี (36.58%) กลิ่น (34.63%) รสชาติ (34.95%) และการยอมรับรวม (36.03%) ของคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด รองลงมาคือ ปริมาณเกลือที่เติมในระหว่างการผลิตซึ่งอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏ (23.61%) สี (29.93%) กลิ่น (28.97%) รสชาติ (31.17%) และการยอมรับรวม (36.47%) ของคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด และเมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยด้านการผลิตที่มีผลต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส พบว่ามีปัจจัยด้านการผลิตไม่มีผลต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่ง Omafuvbe (2006) รายงานว่า soy-dawadawa ที่ไม่ได้เติมเกลือในระหว่างการผลิต และการเติมเกลือ 1% ก็ไม่มีความแตกต่างกันในด้านคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเกลือ 1% มากกว่า ซึ่งคาดว่าคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของถั่วเน่าน่าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น เช่น กรรมวิธีในการการปรุงรส เป็นต้น จากนั้นจึงทำการประมาณค่าของระดับปัจจัยด้านการผลิตที่เหมาะสม และนำระดับการผลิตที่ประมาณค่าได้มาทดสอบในการผลิตถั่วเน่า ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า $Opt_{process1}$ ที่ใช้เวลาในการต้มถั่วเหลืองเป็น

เวลา 6 ชั่วโมง นำไปหมักที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 วัน เป็นระดับของปัจจัยด้านผลิตที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นมีปริมาณโปรตีน (371.84 mg/g wet weight) วิตามินบีสิบสอง (4.86 ng/g wet weight) และมีขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* (14.33 mm) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนและปริมาณวิตามินบีสิบสองเพิ่มขึ้นจากการผลิตถั่วเน่าโดยใช้อัตราส่วนของเชื้อผสมที่เหมาะสม (Opt_{mixed3}) อีก 21.12% และ 32.79% ตามลำดับ ในขณะที่มีขนาดของวงใสต่อเชื้อก่อโรค *S. aureus* ใกล้เคียงกันจึงได้เลือก $Opt_{process1}$ มาศึกษาต่อไป ซึ่งระดับของปัจจัยด้านผลิตถั่วเน่าที่วิเคราะห์ได้ครั้งนี้สามารถนำไปใช้กำหนดขั้นตอนในการผลิตถั่วเน่า โดยเฉพาะขั้นตอนในการต้มถั่วเหลือง ซึ่งมักมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ในการผลิต บางพื้นที่ใช้เวลาในการต้มถั่วเหลือง 3-4 ชั่วโมง (Suppadit *et al.*, 2005) ในขณะที่บางพื้นที่ใช้เวลาต้มถั่วเหลืองทิ้งไว้ข้ามคืน ซึ่ง มาลี และคณะ (2547) ได้ให้ความเห็นว่าควรมีการควบคุมระยะเวลาในการต้มถั่วเหลืองให้เหมาะสม การต้มนานเกินไปจะทำให้สูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ และสิ้นเปลืองไม้ฟืนที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานการต้มถั่วเหลือง เป็นต้น สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิเป็นวิธีทางสถิติที่สามารถช่วยในการออกแบบการผลิต กำหนดปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพ และเลือกค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิต (Atil and Unver, 2000) สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณค่าระดับของปัจจัยด้านการผลิตที่เหมาะสมในการหมักถั่วเน่า และทำนายคุณลักษณะของถั่วเน่าที่จะทำการผลิตขึ้นได้

การศึกษาผลของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งต่อคุณลักษณะของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล พบว่า วิธีการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณโปรตีนและจำนวนเชื้อที่มีชีวิตทั้งหมดของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยที่ถั่วเน่าแผ่นที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถรักษาคุณค่าทางด้านโปรตีนได้มากกว่าวิธีการตากแดดโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะการทำแห้งโดยการตากแดดโดยตรง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้จำนวนเชื้อที่มีชีวิตทั้งหมดในหน่วย log cfu/g dry weight ลดลงต่ำที่สุด (8.91) แต่หลังจากนั้นจำนวนเชื้อที่มีชีวิตของถั่วเน่าที่ผลิตขึ้นที่ผ่านการทำแห้งทั้งสามวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง Woo *et al.* (2000) ได้ให้เหตุผลว่า รังสี UV (Ultra Violet) ที่มีอยู่ในแสงแดดสามารถถูกดูดซึมและไปทำลาย DNA และสารที่เกี่ยวข้องภายในเซลล์ของแบคทีเรียได้ ในขณะที่วิธีการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินบีสิบสองของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าปริมาณวิตามินบีสิบสองของถั่วเน่าแผ่นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทำแห้ง และเมื่อสิ้นสุดการทำแห้งที่เวลา 6 ชั่วโมงพบว่า ปริมาณวิตามินบีสิบสองของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ มีรายงานการสูญเสียปริมาณวิตามินบีสิบสองในกระบวนการให้ความร้อนของผลิตภัณฑ์

อื่น เช่น Oamen *et al.* (1989) ได้รายงานว่าวิตามินบีสิบสองในน้ำนมดิบจะสูญเสียเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนแบบ UHT (Ultra Heat Temperature) ประมาณ 12.5% ในขณะที่ Renner (1979) อยู่ในช่วง 10 – 20% นอกจากนี้ยังพบว่า ออกซิเจนและวิธีการเก็บรักษามีผลในการทำลายวิตามินบีสิบสองอย่างรวดเร็วอีกด้วย อย่างไรก็ตามพบว่า สมบัติของสารสกัดจากถั่วเน่าได้ถูกทำลายไปหมดในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากความร้อนซึ่งมีผลในการทำลายสมบัติดังกล่าวไป

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้น ได้แก่ ค่า pH วอเตอร์แอกทิวิตี้ (a_w) ปริมาณความชื้น การสูญเสียน้ำหนัก และค่าสีในระบบ CIE L* a* b* พบว่าวิธีการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อค่า pH, a_w และการสูญเสียน้ำหนักของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีผลในการลดค่า a_w ของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นได้มากกว่าวิธีการตากแดดโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่า a_w หมายถึง ปริมาณน้ำอิสระที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดำเนินกิจกรรมทางเคมีและจุลชีววิทยาของเชื้อจุลินทรีย์ และเป็นปัจจัยที่สำคัญของอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยค่า a_w ต่ำจะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ และชะลอการเร่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์ไขมัน และปฏิกิริยามิลลาร์ด สำหรับค่า a_w ขั้นต่ำที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ เช่น แบคทีเรีย (0.90) ยีสต์ (0.88) ราส่วนใหญ่ (0.80) จุลินทรีย์ก่อโรคเช่น *S. aureus* (0.86) และ *E. coli* (0.96) (รังสินี, 2550) ซึ่งการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่า a_w อยู่ต่ำกว่าจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ และจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดสามารถเจริญได้ และพบว่ามีเพียงระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเท่านั้นที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้น แต่เมื่อสิ้นสุดการทำแห้งที่เวลา 6 ชั่วโมงพบว่าปริมาณความชื้นของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นของถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นยังคงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าแห้งจากการศึกษาของ Chukeatirote and Tamang (2006) ที่มีปริมาณความชื้นประมาณ 11.87% Cheong *et al.* (2005) ประมาณ 7.6% และ Suppadit *et al.* (2005) ซึ่งอยู่ในช่วง 7.30 – 12.02% และได้แนะนำว่าถั่วเน่าแผ่นควรมีมาตรฐานด้านปริมาณความชื้นที่น้อยกว่า 14%

จากการวิเคราะห์ค่าสีพบว่ามีเพียงระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเท่านั้นที่มีผลต่อค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) โดยค่า L* และ b* มีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันซึ่งมีค่าลดลงในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการทำแห้งหลังจากนั้นจึงคงที่ ซึ่งแตกต่างจากการการเปลี่ยนแปลงของค่า a* ซึ่งจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว

ในระหว่างชั่วโมงที่ 2 ถึง 4 ของการทำแห้ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีทั้งหมดทำให้ถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นมีสีที่คล้ำขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเน่าแบบเปียก Barreiro *et al.* (1997) ได้อธิบายว่า การลดลงอย่างรวดเร็วของค่าสีเกิดขึ้นจากรงควัตถุที่มีความอ่อนไหวต่อความร้อนซึ่งทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบที่มีสีดำ จึงทำให้ตัวอย่างมีสีคล้ำขึ้น โดยทั่วไปแล้ว การทำแห้งมีจุดประสงค์หลักในการระเหยน้ำออกไปจากตัวอย่างที่ต้องการทำแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม การทำแห้งก็มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ และเคมีของตัวอย่างที่ต้องการทำแห้งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Chen *et al.*, 2005, Karabulut *et al,* 2007) ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการทำแห้งและระยะเวลาที่เหมาะสมจะสามารถช่วยส่งเสริมการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้รับการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการด้านปริมาณโปรตีนและวิตามินบีสิบสองของถั่วเน่าแบบเปียกและถั่วเน่าแบบแห้งที่ผลิตขึ้นกับถั่วเน่าจากแหล่งผลิตถั่วเน่า โดยในถั่วเน่าแบบเปียกนั้น ถั่วเน่าที่ทำการผลิตขึ้นโดยเชื้อผสมที่ใช้มีปริมาณโปรตีนและวิตามินบีสิบสองไม่แตกต่างจากแหล่งผลิตถั่วเน่าอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาถั่วเน่าแบบแห้งพบว่า ถั่วเน่าแผ่นที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าถั่วเน่าจากแหล่งผลิตอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณวิตามินบีสิบสองนั้นยังคงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นนี้มีปริมาณโปรตีน (591.82 mg/g dry weight) วิตามินบีสิบสอง (1.74 ng/g dry weight) แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนช่วยในการเก็บรักษาคุณค่าทางด้านโปรตีนได้มากกว่า โดย พิชญา และคณะ (2547) ได้รายงานข้อดีของการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งสมุนไพรซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเพียง 2.35 บาท ต่อ 1,800 g สมุนไพร ในขณะที่เมื่อใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดใช้ถึง 83.48 บาท ต่อ 1,800 g สมุนไพร ดังนั้นการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งถั่วเน่าแผ่นที่ผลิตขึ้นยังมีข้อดีกว่าเครื่องอบแห้งในด้านการลดต้นทุนอีกด้วย