



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชุดโครงการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ

Research and Development of Healthy Food Products for the Elderly

โครงการวิจัยย่อยที่ 4 การผลิตอาหารเพื่อสุขภาพจากถั่ว 5 สีสำหรับผู้สูงวัยด้วยกรรมวิธี
เอ็กซ์ทรูชัน

Extrusion of Healthy Food from 5 Colors Beans for the
Elderly

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผ.ศ. ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

คณะผู้ร่วมวิจัย

นางสาวดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์

นางสาวกรรณา วงษ์กระจำ

นางสาวชมดาว ลิกษะมณฑล

นายอำนาจ คูตะคุ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พฤษภาคม 2554

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

และผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้วิจัยแต่ผู้เดียว

ปีงบประมาณ 2553

รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการ

ชื่อโครงการ(ภาษาไทย) การผลิตอาหารเพื่อสุขภาพจากถั่ว 5 สีสำหรับผู้สูงวัยด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชั่น

(ภาษาอังกฤษ) Extrusion of Healthy Food from 5 Colors Beans for the Elderly

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2553

จำนวนเงิน 396,593.00 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 15 กรกฎาคม 2553

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัย พร้อมต้นสังกัดและเบอร์โทรศัพท์

	หน่วยงาน	หมายเลขโทรศัพท์
หัวหน้าโครงการ		
ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	โทรศัพท์ 02-329-8356-8 ต่อ 21 E-mail : kpmarade@kmitl.ac.th
คณะผู้วิจัย		
นางสาวดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์	สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร	โทรศัพท์ 02-942 8629-35 ต่อ 606
นางสาวกรุณา วงษ์กระจำ	สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร	โทรศัพท์ 02-942 8629-35 ต่อ 507
นาย อำนาจ กุตะคุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพฯ	โทรศัพท์ 02-329-8356-8 ต่อ 21
นางสาวชมดาว สิกขะมณฑล	สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร	โทรศัพท์ 02-942 8629-35 ต่อ 505

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสำหรับผู้สูงอายุจากถั่ว 5 สี โดยอาศัยกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน ทำการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันจากถั่ว 5 สี ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างลูกเดี๋ยกับถั่วแต่ละสี (30:70, 50:50, 70:30) และความเร็วรอบสกรู (450, 550 rpm) ที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความหนาแน่น อัตราส่วนขยายตัว ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) ความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) ลักษณะเนื้อสัมผัส และสี ผลการทดลองที่ได้นำมาคัดเลือกหาแนวทางสภาวะการผลิตที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่า วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบจากถั่ว 5 สีกับลูกเดี๋ยสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันได้ การเพิ่มความเร็วรอบสกรูส่วนใหญ่มีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดต มีค่าความหนาแน่น ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และค่าความชื้นลดลง ขณะที่ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ ค่าความสามารถในการละลายน้ำ และค่า อัตราส่วนขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น สภาวะการผลิตที่มีค่าตัวแปร อัตราส่วนน้ำหนักผสมของลูกเดี๋ยกับถั่ว เท่ากับ 50:50 และความเร็วรอบสกรู 550 rpm สามารถใช้ผลิตกับถั่วทุกสูตร แต่วัตถุดิบที่ผลิตจากสูตรที่ผสมถั่วเหลืองมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง สามารถใช้ผสมกับลูกเดี๋ยได้เพียง 30%

คำสำคัญ : ผู้สูงอายุ, เอ็กซ์ทรูชัน, ถั่ว 5 สี

Abstract

This research studied the extrusion process for producing healthy breakfast cereals for elderly people and investigated the effect of processing parameters on the characteristics of five colored beans extrudates. The parameters included the job's tear to bean ratio (30:70,50:50,70:30) and the screw speed (450,550 rpm). A single screw was used in all experiments. The extrudate characteristics (moisture content, density, expansion ratio, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), textural characteristics and color) were analyzed. It was found that an increase in the screw speed resulted in a decrease in the extrudate's density, redness, yellowness and moisture content, but WAI, WSI and the expansion ratio. The processing conditions of job's tear to bean ratio at 50:50 and the screw speed at 550 rpm were found to be optimum for all bean types. However, the feed with soy bean had some usage limitations due to its fat content, and only 30% of soy bean could be mixed with job's tear.

Keywords : *Elderly, Extrusion, Beans, 5 colors*

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กรอบความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

ถั่วเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีราคาไม่แพง และมีปริมาณจำหน่ายอยู่อย่างแพร่หลาย ถั่วมีหลายประเภท เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วขาว เป็นต้น (เพ็ญญา และคณะ 2544) ส่วนใหญ่ถั่วจะอุดมไปด้วยโปรตีนและสารสำคัญหลายชนิด เช่น เลซิทีน Thiamine, Riboflavin, Niacin และ Ascorbic Acid นักโภชนาการแนะนำให้รับประทานถั่วให้ครบทุกสี (Shen and Lim, 2009) จะช่วยทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ และช่วยเสริมให้อวัยวะหลักสำคัญภายในทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ถั่วเคี้ยวจัดเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าประโยชน์สูง มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว มีคุณค่าทางสารอาหารสูงโดยเฉพาะ คาร์โบไฮเดรตที่เป็นใยอาหารและโปรตีน นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนรวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุสำคัญหลายชนิด(กรมวิชาการเกษตร 2552) แต่อย่างไรก็ตามการบริโภคอาหารที่มีคุณค่าจากถั่วและถั่วเคี้ยวค่อนข้างยุ่งยากสำหรับผู้สูงวัย เนื่องจากต้องใช้เวลาในการปรุงหรือทำให้สุกก่อนนำมาบริโภค ดังนั้นหากมีการนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อให้สะดวกต่อการนำมาบริโภค ย่อมเป็นประโยชน์และเป็นสิ่งต้องการสำหรับผู้สูงวัย

กระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันเป็นกรรมวิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพ สามารถดำเนินการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการได้ภายในขั้นตอนเดียว และมีต้นทุนการผลิตต่ำ (Guy, 2001) ส่วนใหญ่ใช้จำกัดอยู่เพียงกลุ่มวัตถุดิบจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าว และแป้งสาลี แต่สำหรับวัตถุดิบจากกลุ่มถั่วและถั่วเคี้ยวยังไม่มีหรือนำวิธีการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันมาประยุกต์ใช้มากนัก โดยทั่วไปวัตถุดิบธัญพืชเมื่อผ่านเข้าสู่กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันโมเลกุลอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและกายภาพภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงในระยะเวลาสั้นๆ ได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่สะดวกต่อการบริโภค และร่างกายสามารถย่อยสลายดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น[3,10] นอกจากนี้ข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของกรรมวิธีการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันคือสามารถปรับเปลี่ยนสถานะตัวแปรการผลิตเพื่อให้ได้รูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันได้ง่าย ดังเช่น ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารเข้า อาหารขบเคี้ยว หรือ ผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูป เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามในการปรับเปลี่ยนสถานะของตัวแปรการผลิตเพื่อให้ได้รูปแบบผลิตภัณฑ์ตามต้องการนั้น จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงผลกระทบของสถานะตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตเป็นสำคัญ จึงจะสามารถควบคุมการผลิตให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามต้องการได้ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่มีศึกษากันมากและมีจำหน่ายในท้องตลาด ส่วนใหญ่จะผลิตจากแป้งสาลี ข้าวโพดและข้าว (Bhattacharya, 1997; Ding et al., 2005; Narpinder et al., 1998) ซึ่งไม่ค่อยมีคุณค่าทางโภชนาการสำหรับผู้สูงวัย ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากธัญพืชกลุ่มถั่วและถั่วเคี้ยวซึ่งมีประโยชน์และมี

คุณค่าทางโภชนาการสูง จึงควรนำมาศึกษาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นเพื่อหาแนวทางการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารเข้าหรืออาหารผงสำเร็จรูปพร้อมชน นับเป็นการเพิ่มทางเลือกในการบริโภคให้กับผู้สูงอายุตลอดจนผู้รักสุขภาพให้มากขึ้น ทั้งยังเป็นการพัฒนาการแปรรูปให้กับผลผลิตทางเกษตรไทยให้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกทางหนึ่ง

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติระบุว่าไทยมีสัดส่วนประชากรผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น โดยในปี 2555 จำนวนประชากรผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปจะมีเป็นจำนวนถึง 8.4 ล้านคน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 12.4 ของประชากรทั้งหมด และคาดการณ์ว่าในอีก 15-20 ปีข้างหน้า ผู้สูงอายุจะมีสัดส่วนถึง 1 ใน 5 ของคนทั้งประเทศ ซึ่งจะทำให้ไทยกลายเป็นสังคมผู้สูงอายุเต็มรูปแบบ (จิราวัฒน์ 2553) โดยปกติผู้สูงอายุจะมีสมรรถนะทางร่างกายเสื่อมลง ไม่ว่าจะเป็นการมองเห็น การได้ยิน ความแข็งแรง แม้กระทั่งความกระตือรือร้นในการปรุงอาหาร การบริโภคลดน้อยลง ทำให้ผู้สูงอายุไม่ได้รับสารอาหารที่สมบูรณ์ครบถ้วน จึงก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพ โรคภัยไข้เจ็บตามมา การจัดเตรียมอาหารที่มีคุณค่าในรูปแบบที่สะดวกต่อการบริโภคเพื่อช่วยสร้างเสริมสุขภาพให้กับผู้สูงวัยจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารอาหารเข้า/อาหารสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาด ส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัตถุดิบหลักที่เป็นแป้งข้าวเจ้า ข้าวโพด ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการน้อย มีปริมาณน้ำตาลไขมัน แป้งสูง จึงไม่เหมาะสำหรับผู้สูงวัย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น ผลิตภัณฑ์จากถั่ว/ลูกเดี๋ย ในท้องตลาดส่วนมากยังไม่อยู่ในรูปแบบพร้อมบริโภค จึงไม่สะดวกต่อการนำมาบริโภค ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแบบใหม่ ที่ประกอบด้วยวัตถุดิบหลักจากธัญพืช และถั่วเป็นหลัก ซึ่งอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะวิตามิน แร่ธาตุที่จำเป็น และอยู่ในรูปแบบที่พร้อมบริโภคสำหรับผู้สูงวัยจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกับสภาวะการณปัจจุบัน

กระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันเป็นกรรมวิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพ สามารถดำเนินการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปภายในขั้นตอนเดียว และมีต้นทุนการผลิตต่ำ รูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตได้ด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชันมีหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าอาหารผงสำเร็จรูป อาหารเด็กอ่อน หรืออาหารขบเคี้ยว (Guy, 2001) ถึงแม้ว่ากรรมวิธีผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันจะมีข้อได้เปรียบหลายประการ แต่ในปัจจุบันการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่ยังคงจำกัดอยู่เพียงกลุ่มวัตถุดิบจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าว และแป้งสาลี เท่านั้น ส่วนวัตถุดิบในกลุ่มถั่วและลูกเดี๋ยยังไม่พบมีการนำวิธีการผลิตแบบนี้ไปประยุกต์ใช้มากนัก โดยปกติวัตถุดิบธัญพืชเมื่อผ่านเข้าสู่กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โมเลกุลอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและกายภาพภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงในระยะเวลาสั้นๆ ได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่สะดวกต่อการบริโภค และร่างกายสามารถย่อยสลายดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น (Wang et al., 2008) แต่อย่างไรก็ตามในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณลักษณะหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามต้องการนั้น

จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงผลกระทบของสภาวะตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการผลิต จึงจะสามารถควบคุมการผลิตให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามต้องการได้ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ส่วนใหญ่จะผลิตจากแป้งสาลี ข้าวโพดและข้าว (Bhattacharya, 1997; Ding et al., 2005; Narpinder et al., 1998) ซึ่งไม่ค่อยมีคุณค่าทางโภชนาการสำหรับผู้สูงวัย ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากธัญพืชกลุ่มถั่วและถั่วเหลืองซึ่งมีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย จึงควรนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลการผลิตที่ใช้วัตถุดิบจากกลุ่มถั่วและถั่วเหลืองมีน้อยมาก ดังนั้นจึงควรได้มีการศึกษาแนวทางการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปในรูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารเช้าหรืออาหารผงสำเร็จรูปพร้อมซองที่สะดวกต่อการบริโภคสำหรับผู้สูงอายุ นับว่าเป็นการเพิ่มทางเลือกอาหารที่มีคุณค่าในการบริโภคให้กับผู้สูงอายุตลอดจนผู้รักสุขภาพให้มากขึ้น ทั้งยังเป็นการพัฒนาการแปรรูปให้กับผลผลิตทางเกษตรไทยให้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกทางหนึ่ง

สภาพสังคมปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไป การดำเนินชีวิตประจำวันเป็นไปอย่างเร่งรีบ การเตรียมอาหารรับประทานเองกลายเป็นสิ่งยุ่งยาก เสียเวลา คนจำนวนมากจึงต้องหาซื้ออาหารที่สะดวกพร้อมรับประทาน ส่วนมากอาหารที่อยู่ในรูปแบบของอาหารขบเคี้ยว, ผลิตภัณฑ์อาหารเช้า, เครื่องดื่มสำเร็จรูป นั้นเป็นอาหารที่นิยมโดยทั่วไป และสะดวกต่อการบริโภค แต่ทว่าอาหารประเภทนี้ที่มีจำหน่ายส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่พร้อมบริโภคที่มีคุณค่าทางอาหารจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค โดยเฉพาะผู้บริโภคที่สูงวัยเนื่องจากปัญหาความเสื่อมถอยของร่างกาย การบริโภคสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ย่อมช่วยเสริมสุขภาพให้แข็งแรง มีรายงานเกี่ยวกับการบริโภคอาหารให้ครบ 5 สี ให้เข้ากับธาตุในร่างกายนั้น จะช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ ซึ่งจะช่วยป้องกันและรักษาโรค บำรุงร่างกายให้ทำงานดียิ่งขึ้น (TCM, 2009; สุทธิวิธส์, 2547) แหล่งวัตถุดิบดังกล่าวสามารถหาบริโภคได้ง่ายจากถั่ว (สุทธิวิธส์, 2547; เพ็ญญา และคณะ, 2544; Newswit, 2009) ดังต่อไปนี้

- **ถั่วเหลือง** มีโปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, เลซิทีนในปริมาณสูง รวมทั้งมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี 1, บี 2 ป้องกันการขาดแคลเซียม บำรุงระบบประสาท ช่วยป้องกันไม่ให้ตับทำงานผิดปกติ
- **ถั่วเขียว** มีสารไทเอมิน, วิตามินบี 2, บี 3, กรดแอสคอร์บิก ที่ให้ค่าการตอบสนองต่อน้ำตาลในเลือดต่ำ เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน
- **ถั่วแดง** เป็นแหล่งโปรตีน อุดมด้วยแอนโทไซยานิน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัวได้
- **ถั่วดำ** มีสารแอนโทไซยานิน โฟเลต แมกนีเซียม กรดแอลฟาไลโนริก วิตามิน บี 6 บี 1 และ บี 2 บำรุงหัวใจ ลดไขมันอุดตันในหลอดเลือด บำรุงไต ขับเหงื่อ

- **ถั่วขาว** มีสารฟาสซิโอลามินทำให้การสะสมของไขมันลดลง นิยมแปรรูปเป็นสารสกัดถั่วขาว อาหารเสริม เพื่อช่วยลดความอ้วน

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ สามารถผลิตเสร็จในขั้นตอนเดียว ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบพวกรั้วพืชมาแปรรูปเป็นอาหารที่สะดวกต่อการบริโภค ได้แก่ อาหารขบเคี้ยว ,ผลิตภัณฑ์อาหารเช้า เครื่องดื่มสำเร็จรูป (Bhattacharya ,1997) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษากระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเพื่อใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากถั่ว 5 สปีให้อยู่ในสภาพที่สะดวกต่อการบริโภค

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพจากถั่ว 5 สปีสำหรับผู้สูงอายุในรูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารเช้า (Breakfast cereals) โดยใช้กรรมวิธีผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรและหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ
3. เพื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้สูงอายุต่อผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเด

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- วัตถุดิบหลักที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วย ลูกเดือย ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว
- ในกระบวนการผลิตอาศัยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว กำหนดค่าตัวแปรของสภาวะการผลิตที่ศึกษา คือ 1) อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ผสม 2) ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ และ ความเร็วรอบของสกรู วัตถุดิบจะผ่านการบดและคัดขนาดให้มีขนาดอนุภาคในช่วง 50-60 mesh ก่อนนำไปผสม
- ในการศึกษารูปแบบของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุจะพิจารณาจากเกณฑ์คุณลักษณะในรูปแบบผลิตภัณฑ์ประเภท “ผลิตภัณฑ์อาหารเช้า หรืออาหารผงสำเร็จรูปพร้อมชงเพื่อบริโภค” ดังต่อไปนี้ 1) Expansion Index, 2) Texture Properties, 3) Product Moisture, 4) Density, 5) Water Absorption Index, 6) Water Solubility Index 7) Sensory Evaluation

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้แนวทางการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีคุณค่าทางโภชนาการสำหรับผู้สูงอายุด้วยกรรมวิธีผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันในรูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารเช้า (Breakfast Cereals) สำหรับผู้ประกอบการผลิตอาหารเพื่อจำหน่าย

- ทราบข้อมูลผลกระทบของตัวแปรการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราเกรดสำหรับผู้ประกอบการผลิตอาหารเพื่อจำหน่าย
- ได้รูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะสมและได้รับการยอมรับจากผู้สูงวัย สำหรับผู้บริโภคสูงวัยและผู้บริโภคทั่วไป
- ได้มีการร่วมมือกันในการดำเนินงานวิจัยในลักษณะบูรณาการระหว่างหน่วยงานทั้งในส่วนการศึกษา การวิจัย ผู้บริโภค และผู้ประกอบการผลิต
- เป็นการเพิ่มศักยภาพในการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่เป็นจำนวนมากภายในประเทศ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลการผลิตแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์

กระบวนการอิเล็กทรอนิกส์เป็นกระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูปที่รวมการทำงานในหลายขั้นตอนเข้าด้วยกัน เช่น การผสม การนวด การทำให้สุก และการขึ้นรูป โดยการอัดอาหารด้วยสกรู ทำให้น้ำในอาหารได้รับความร้อนจากแรงเสียดทานและแรงเฉือน อาหารเกิดการหลอมเหลวและถูกดันผ่านรูหน้าแปลนออกจากเครื่องที่ปลายอีกด้านหนึ่ง เมื่ออาหารพ้นออกจากรูหน้าแปลน เกิดความดันลดในน้ำในอาหาร ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกจากอาหารอย่างรวดเร็ว เกิดลักษณะการพองตัวในผลิตภัณฑ์ เมื่ออาหารโผล่ออกมาจะมีไบบีคคอยตัดชิ้นอาหารที่บริเวณหน้าแปลน สามารถปรับความเร็วของไบบีคเพื่อให้ได้ขนาดชิ้นอาหารตามต้องการ เครื่องอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งอาหารประเภทอาหารขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์อาหารเช้า (Breakfast Cereals) อาหารเด็กอ่อน เครื่องดื่มผงสำเร็จรูป เป็นต้น (Guy, 2001, Mercier et al., 1989)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการผลิตแบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประการ คือ 1) ปัจจัยที่เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ (Hardware Parameters) 2) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสถานะการทำงานของเครื่อง (Process Parameters) และ 3) ปัจจัยที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบ (Guy, 2001; Manisha et al., 1997) สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์นั้น เช่น ชนิดและประเภทของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ลักษณะสกรู บาร์เรล หน้าแปลนซึ่งในแต่ละรูปแบบของโครงสร้างเครื่อง มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดในการผลิตอาหาร ซึ่งส่งผลต่ออัตราการผลิตและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกัน (Manisha et al., 1997; Gogoi et al., 1996) โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาจากการสร้างเครื่องจักร สามารถจำแนกเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสกรูเดี่ยว กับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสกรูกู่ เครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบสกรูกู่มีข้อได้เปรียบในการทำงานมากกว่าและสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นหลายระดับ แต่มีการลงทุนของเครื่องจักรสูงเนื่องจากสกรูและบาร์เรลค่อนข้างซับซ้อน ส่วนเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบสกรูเดี่ยวมีสกรูหลักที่ใช้ในการทำงานเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของอาหารเพียงสกรูเดียว ในการผลิตอาจต้องอาศัยส่วนช่วยปรับสภาพวัตถุดิบก่อนป้อนเข้าเครื่อง หรือต้องใช้ความร้อนจากภายนอกมาช่วยในการผลิต แต่การลงทุนเครื่องจักรต่ำกว่ามากและสามารถควบคุมการผลิตได้ง่าย (Guy, 2001; Mercier et al., 1989) สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานะการทำงานของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรู ซึ่งแสดงถึงระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้กระบวนการผลิต อุณหภูมิบาร์เรล อัตราการการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของไบบีค ซึ่งมีผลต่อลักษณะการสุกและการพองตัวของผลิตภัณฑ์

(Bhattacharya, 1997; Ding et al., 2005) ส่วนปัจจัยที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบก็เป็นสิ่งสำคัญ ประกอบด้วย ขนาดอนุภาค ปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ ของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท โดยเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส อัตราการพองตัว และสีเป็นสำคัญ (Sacchetti et al., 2004; Singh et al., 2007)

2.1.2 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท

(Guy, 2001; Mercier et al., 1989)

สามารถแบ่งเป็น 3 ประการ คือ

1) ปัจจัยเกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ส่วนโครงสร้างที่สำคัญ ประกอบด้วย

- ส่วนรับวัตถุดิบ (Feed Hopper) ทำหน้าที่รับวัตถุดิบก่อนปล่อยออกสู่ส่วนของสกรู ภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์อย่างต่อเนื่อง มีหลายรูปแบบ เช่นแบบเกลียวลำเลียง แบบสายพาน สามารถปรับอัตราการป้อนวัตถุดิบ

- สกรู (Screw) ทำหน้าที่ลำเลียง/ผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน ยังช่วยเพิ่มแรงกดอัดและแรงเสียดทานเป็นพลังงานความร้อนให้กับวัตถุดิบจนเกิดการสุก/เปลี่ยนสภาพ

- บาร์เรล (Barrel) เป็นท่อทรงกระบอกที่สวมสกรู ช่วยลดการสิ้นเปลืองของวัตถุดิบ ขณะที่วัตถุดิบเคลื่อนที่อยู่ภายใน และยังช่วยเพิ่มแรงดันและแรงเสียดทานกับผลิตภัณฑ์ด้วย

- ปลอกท่อ (Jacket) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิขณะใช้งานเครื่อง โดยการปล่อยน้ำเย็นหรือน้ำร้อน เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากหรือไปยังวัตถุดิบเพื่อควบคุมให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

- หน้าแปลน (Die) เป็นส่วนที่ทำให้วัตถุดิบที่หลอมเหลวไหลผ่านช่องเปิดเล็กๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทที่ผ่านพ้นออกภายนอกเครื่องมีรูปร่างต่างๆ ตามต้องการ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัว เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดันทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว และ

- ใบมีด (Knife) เป็นส่วนที่กำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทที่ออกมาจากหน้าแปลน โดยตัดให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดสั้นหรือยาวตามต้องการ

2) ปัจจัยเกี่ยวกับสภาวะของการทำงาน (Operating conditions) เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอ็กซ์ทรูชัน ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่

- เวลา (Time) กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมีลักษณะเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะต่างๆ และอาศัยเวลาในการปรับตัวให้เข้าสู่สมดุล เวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ภายใต้การดำเนินการขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดเครื่องจักร เป็นสำคัญ

○ อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปฏิกิริยาหลักของกระบวนการนี้ คือการเกิดเจล (Gelatinization) และหากต้องการให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ และน้ำในอาหารจึงจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำผ่านหน้าแปลน (die) อุณหภูมิที่สูงเพียงพอช่วยทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลเม็ดแป้งจะพองตัวอย่างเห็นได้ชัด

○ อัตราการเฉือน (Shear rate) แสดงระดับการผสมของเนื้อวัตถุดิบ (mixing intensity) ขณะวัตถุดิบเคลื่อนที่โดยการขับเคลื่อนของสกรู วัตถุดิบจะสัมผัสกับบาร์เรลที่อยู่รอบสกรูตลอดเวลา ทำให้เกิดการเคลื่อนไถลออกจากกัน อัตราเฉือนแปรเปลี่ยนตามความเร็วที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู และความลึกของร่องเกลียว

○ ความเร็วรอบสกรู (Screw speed) สกรูของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ทำหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ (1) การขนถ่าย (3) การผสม และ (2) ก่อให้เกิดงานและความร้อน สกรูส่วนที่ทำหน้าที่ลำเลียง มักมีลักษณะเกลียวลึกเพื่อรับวัตถุดิบอาหารเข้าสู่เครื่อง ส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดเล็กๆ ที่ผ่านการปรับความชื้น สกรูลำเลียงส่วนผสมวัตถุดิบเหล่านี้เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสกรู ขณะเคลื่อนไปตามสกรู วัตถุดิบได้รับการอัดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ส่วนผสมบรรจุลงในช่องว่างในร่องเกลียว สกรูในส่วนถัดไปซึ่งเป็นช่วงการอัด โดยสกรูเริ่มมีความสูงของเกลียวลดลง หรืออาจใช้วิธีอื่นที่ทำให้ปริมาตรบรรจุของส่วนผสมในร่องเกลียวมีค่าลดลง ทำให้เกิดการอัดมากขึ้น ส่วนผสมของวัตถุดิบจะหมุนอยู่ในร่องเกลียวของสกรูขณะที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่อง พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนได้จากมอเตอร์ขนาดใหญ่ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมวัตถุดิบเพิ่มขึ้นและเกิดการสุกหอมเหลวไปเป็นโด

3) ปัจจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบ (Riaz, 2000)

ธัญพืช (cereals) เป็นกลุ่มวัตถุดิบหลักของผลิตภัณฑ์อาหารจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ที่นิยมใช้มาก ได้แก่ ข้าวโพด ข้าว ข้าวโอ๊ต มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าองค์ประกอบทางเคมีมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตดังนี้

○ โปรตีน จะลดการพองตัวของโปรงอากาศ เพิ่มความหนาแน่น และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสกรอบแข็งมากยิ่งขึ้น

○ ความชื้น การเติมน้ำในส่วนผสม คล้ายเป็นตัวหล่อลื่นให้ผลิตภัณฑ์ไหลไปข้างหน้า และเป็นส่วนสำคัญในการเกิดเจล เมื่อแป้งดูดความชื้น และมีอัตราเฉือนหรืออุณหภูมิที่เพียงพอทำให้เกิดการพองตัว

○ แป้งหรือ การเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งขึ้นกับการผลของความร้อนและแรงเฉือนทางกลร่วมกัน เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะเคลื่อนผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ การไหลของส่วนผสม

ต่างๆ ในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต้องอาศัยพลังงานกลมากเพื่อใช้หมุนสกรู และถูกปลดปล่อยออกมาในรูปความร้อนทำให้อุณหภูมิแข็งสูงขึ้น ผลของการเจลาติไนซ์เซชันได้โคที่เหนียวหรือโคที่หลอมเหลว ซึ่งสามารถเคลื่อนผ่านรูหน้าแปลนของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เพื่อขึ้นรูปและพองทันทีหลังจากออกจากหน้าแปลน

- **ไขมัน** ทำหน้าที่เหมือนตัวหล่อลื่น ลดความเหนียวหนืดของส่วนผสมทำให้ถูกผลักได้ง่าย ถ้าไขมันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความพองปริมาณไขมันควรต่ำกว่า 2 % แต่สำหรับผลิตภัณฑ์สแนคเฟลเฟล หรืออาหารสัตว์ที่ความชื้นสูง ซึ่งต้องการเนื้อแน่นปริมาณไขมันใช้ได้ตั้งแต่ 1-10 %

- **น้ำตาล** มักใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญชาติเป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลจะหอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 250 °ฟ จะช่วยลดความชื้นหนืดของส่วนผสม ทำให้ผลักส่วนผสมได้ง่าย แต่อัตราที่น้อยกว่าน้ำและไขมัน ให้รสหวานและสี หากอุณหภูมิกว่านี้จะเกิดการaramelเป็นสีน้ำตาล

- **อิมัลซิไฟเออร์** ใช้ในปริมาณน้อย น้อยกว่า 1% จะมีผลต่อเนื้อสัมผัส ขนาดของโพรงอากาศและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่มีการพอง เช่น การใช้ lecithin 0.5-1% จะควบคุมเนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ใช้ glycerol monostearate (GMS) 0.3-0.5% จะช่วยลดการติดฟัน(stickiness) และช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์สามารถจับกับอะไมโลส ของแป้งทำให้เกิดการสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อเคี้ยวถูกน้ำลายในปากจึงไม่ติดฟัน

- **เส้นใย** มีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะ fiber จะทำหน้าที่เหมือน solid filler ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวยากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นถ้ามีไฟเบอร์มากขึ้น

- **ขนาดของวัตถุดิบ** เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เพราะส่วนใหญ่ส่วนผสม หรืออาหารที่ป้อนเข้าสู่บาร์เรลมักอยู่ในรูปที่เป็นผงหรือเป็นเกล็ดเล็กๆ เนื่องจากจะทำให้ง่ายต่อการขนถ่ายส่วนผสมเพื่ออัดด้วยการเหวี่ยงและนวด อีกทั้งยังทำให้ส่วนผสมรับความร้อนได้ทั่วถึง เพราะพื้นที่สัมผัสมาก หลอมเหลว สุกและขึ้นรูปขยายตัวได้ง่าย

2.1.3 ผลของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่มีต่อผลิตภัณฑ์ (Riaz, 2000)

ผลทางด้านประสาทสัมผัส เนื่องจากกระบวนการเป็นแบบอุณหภูมิสูงและเวลาดำเนิน จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นน้อย สีของอาหารอาจจะจางลงบ้างจากการขยายปริมาตรของ

ผลิตภัณฑ์ หรืออาหารอาจมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อมีความร้อน และอาจมีการสูญเสียกลิ่นไปพร้อมกับการระเหยของน้ำ อาจต้องมีการเติมสารให้กลิ่นหรือสีบางชนิด แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

ผลของการเอ็กซ์ทรูตต่อการสูญเสียวิตามินในอาหารขึ้นกับชนิดของอาหาร ความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการ เนื่องจากกระบวนการเป็นการใช้อุณหภูมิสูงเวลาน้อยจึงมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย โดยการสูญเสียวิตามินขึ้นกับเวลาที่อาหารถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และขึ้นกับสภาวะของกระบวนการ การใช้อุณหภูมิสูงกับอาหารที่มีโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบ Maillard ซึ่งจะทำให้คุณค่าของโปรตีนต่ำลง แต่การใช้สภาวะอุณหภูมิต่ำกับอาหารโปรตีนที่มีน้ำตาลน้อยจะทำให้คุณภาพของโปรตีนดีขึ้นเนื่องจากโปรตีนจะมีการจัดเรียงรูปร่างใหม่ ทำให้ย่อยได้ง่ายขึ้น

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับถั่ว 5 สี และลูกเดี๋ย

ถั่ว เป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีราคาไม่แพง และมีปริมาณจำหน่ายอยู่อย่างแพร่หลาย สามารถนำมาแปรรูปใช้บริโภคได้ทั้งในรูปแบบของอาหารคาวและอาหารหวาน [7] ถั่วมีหลายประเภท เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วขาว เป็นต้น ถั่วแต่ละชนิดจะให้คุณค่าทางอาหารและระดับของโปรตีนที่ไม่เท่ากัน แบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

- 1) ถั่วที่มีโปรตีนสูงและมีไขมันเรียกว่า Oilseed legume เป็นถั่วที่เก็บสะสมพลังงานในรูปของไขมันได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เป็นต้น
- 2) ถั่วเมล็ดแห้งที่มีโปรตีนสูงและคาร์โบไฮเดรตสูงแต่ไขมันต่ำเรียกว่า Pulses เป็นถั่วที่เก็บสะสมพลังงานในรูปคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วแดง เป็นต้น

ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการทั่วไปของถั่วเมล็ดแห้ง

สารอาหาร	Oilseed legume (%)	Pulses (%)
โปรตีน	35-40	20-22
ไขมัน	18-20	1-3
คาร์โบไฮเดรต	20-30	60-70
ความชื้น	10-13	10-13
พลังงาน(kcal/100 g.)	382-460	329-395

ที่มา : วันชัย สมจิต, 2525 : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

นักโภชนาการแนะนำให้รับประทานถั่วให้ครบทุกสี จะช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ และช่วยเสริมให้อวัยวะหลักสำคัญภายในทำงานได้ดียิ่งขึ้น มีรายงานถึงความสัมพันธ์ของถั่ว 5 สี กับเบญจธาตุ (ธาตุทั้ง 5) ที่ประกอบกันเป็นสิ่งมีชีวิต และเป็นประโยชน์ต่ออวัยวะสำคัญ (สุทธิวิสัย 2547) ดังนี้



ถั่วดำ (BLACK BEANS)

ธาตุน้ำ: มีประโยชน์ต่อไต



ถั่วเขียว (GREEN BEANS)

ธาตุไม้: มีประโยชน์ต่อตับ



ถั่วแดง (RED KIDNEY BEANS)

ธาตุไฟ: มีประโยชน์ต่อหัวใจ



ถั่วขาว (WHITE BEANS)

ธาตุโลหะ: มีประโยชน์ต่อปอด



ถั่วเหลือง (SOY BEANS)

ธาตุดิน: มีประโยชน์ต่อม้าม

ภาพที่ 1 ถั่ว 5 สี

2.2.1 ถั่วเหลือง การปลูกถั่วเหลืองปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 10 พันธุ์ ปรับปรุงโดยกรมวิชาการเกษตร คือ สจ.4 สจ.5 สุโขทัย 1 สุโขทัย 2 สุโขทัย 3 นครสวรรค์ 1 เชียงใหม่ 60 เชียงใหม่ 2 เชียงใหม่ 3 เชียงใหม่ 4 ถั่วเหลืองที่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ ถั่วเหลืองขึ้นมาใหม่ คือ “พันธุ์ศรีสำโรง 1” ซึ่งให้ผลผลิตสูง มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ทั้งยังสามารถต้านทานโรคน้ำค้างได้ดี สำหรับพันธุ์ สจ.4 สจ.5 และ เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมาก

ที่สุด และเป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งในประเทศไทยสามารถปลูกถั่วเหลืองได้ทั้งปี ปีละ 3 ฤดู ถั่วเหลืองมีโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นคาร์โบไฮเดรต 35 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมี เลซิทีน และกรดอะมิโน รวมทั้งมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี 1 และบี 2 วิตามินเอและอี ผลผลิตถั่วเหลืองทั่วประเทศมี 0.223 ล้านตัน/ปี ผลผลิตเฉลี่ย 240-250 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2550) การใช้ประโยชน์ถั่วเหลืองมีหลากหลาย เช่น แปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร เต้าหู้ นมถั่วเหลือง สกัดน้ำมันบริโภค เมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้ในอุตสาหกรรม สกัดน้ำมันถั่วเหลืองคิดเป็นร้อยละ 70.76 ปริภพร้อยละ 28.21 นอกจากนั้นใช้เป็นเมล็ดพันธุ์และส่งออกบ้างเล็กน้อย (กรมวิชาการเกษตร 2552)

สีเหลือง สีเหลือง สัญลักษณ์ "ธาตุดิน" ให้คุณต่อม้าม สารอาหารที่มีสีเหลืองและสีส้มมีสารต้านอนุมูลอิสระหลากหลายชนิด เช่น วิตามินซี แคโรทีนอยด์ และสารฟลาโวนอยด์ อาหารกลุ่มนี้จะช่วยรักษาสุขภาพหัวใจและหลอดเลือด สายตา ดูแลสุขภาพระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และเสริมประสิทธิภาพของเซลล์นักฆ่า (natural killer cell) ในการกำจัดเซลล์มะเร็ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่ซ่อมแซมสารพันธุกรรมได้

2.2.2 ถั่วเขียว ถั่วเขียวประกอบด้วยถั่วเขียวผิวดำและถั่วเขียวผิวมัน (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2540) จากข้อมูลพบว่าถั่วเขียวผิวมันเป็นที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย เพื่อประโยชน์ทางการค้าเป็นส่วนใหญ่ มีผลผลิตต่อปีประมาณ 2.5 แสนตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) โดยพันธุ์ของถั่วเขียวมีอยู่ประมาณ 7 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 72 , พันธุ์ชัยนาท 36 , พันธุ์กำแพงแสน 1 (มก.) , พันธุ์กำแพงแสน 2 (มก.) พันธุ์ชัยนาท 60, พันธุ์ มทส.1 , พันธุ์ มอ.1, พันธุ์อุทอง 1 และพันธุ์อุทอง 2) จากการสำรวจพบว่า ถั่วเขียวให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 193.9 -254 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกได้ในทุกฤดูและในทุกภาคของประเทศไทย โดยพันธุ์ มอ.1 จะให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด คือ 254 กิโลกรัมต่อไร่ แต่พันธุ์อุทอง 1 จะเป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากเมล็ดขนาดใหญ่ค่อนข้างสม่ำเสมอและผิวมัน (กรมวิชาการเกษตร , 2552) โดยทั่วไปมักจะนำถั่วเขียวมาประกอบอาหารหวานและเพาะเป็นถั่วงอก ถั่วเขียวให้ปริมาณแป้งและโปรตีนที่สูงกว่าถั่วชนิดอื่นๆ ในด้านอุตสาหกรรม จึงนำไปทำเป็นแป้งถั่วเขียว ซึ่งแป้งถั่วนี้มักจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือใช้ทำขนม แป้งสดส่วนใหญ่นำไปใช้ทำวุ้นเส้น ถั่วเขียวมีองค์ประกอบสำคัญคือแป้งร้อยละ 62.7 โปรตีนร้อยละ 21.7 ความชื้นร้อยละ 10.2 เส้นใยร้อยละ 3.5-4.5 และไขมันร้อยละ 1.5 นอกจากนี้ยังมี Thiamine, Riboflavin, Niacin และ Ascorbic Acid มีรายงานว่า วุ้นเส้นที่ทำจากถั่วเขียวให้ค่าการตอบสนองต่อน้ำตาลในเลือด (glycemic index) ต่ำ เมื่อเทียบกับ อาหารคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ

สีเขียว สีเขียว สัญลักษณ์ "ธาตุไม้" ให้คุณต่อตับ ได้จากถั่วเขียวอุดมไปด้วยคลอโรฟิลล์แล้วยังมีสารประกอบอื่นๆ เช่น ลูทีน (lutein) อินโดล (indole) และไทโอไซยาเนต (thiocyanate) ซึ่งมี

คุณสมบัติส่งเสริมสุขภาพหลายประการ มีฤทธิ์ด้านการเกิดมะเร็ง โดยเปลี่ยนแปลงการทำงานของเอนไซม์กำจัดสารพิษและสารก่อกลายพันธุ์ในตับ ทำให้มีเอนไซม์กำจัดสารพิษในตับได้เป็นอย่างดี

2.2.3 ถั่วแดง พันธุ์ถั่วแดงที่ได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรชาวไทยภูเขาปลูกแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พันธุ์สีแดงเข้ม และพันธุ์สีชมพู โดยพันธุ์สีแดงเข้ม มีสีสวยและเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่าพันธุ์สีชมพู แต่พันธุ์สีชมพู มีขนาดของเมล็ดโตกว่าชนิดแรกเล็กน้อย ให้ผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างสูง แต่สีของเมล็ดไม่เป็นที่ต้องการของตลาดมากนัก (ม.เกษตรศาสตร์, 2547) ถั่วแดงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีโปรตีน แอนโทไซยานิน และมีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถส่งออกผลผลิตได้ปีละประมาณ 20,000-30,000 ตัน มูลค่า 150-190 ล้านบาท การใช้ภายในประเทศมีน้อย สารแอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของไขมันแอลดีแอล และยังทำให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดมีความอ่อนนุ่ม การกินผักและผลไม้ที่มีสีแดงจึงสามารถชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัวได้ (เพ็ญภา, 2544)

สีแดง สีแดง สัญลักษณ์ "ธาตุไฟ" ให้คุณต่อหัวใจ ช่วยลดคอเลสเตอรอลส่วนเกิน เพื่อลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคหัวใจ สีแดงเกิดจากสารกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นโมเลกุลให้สีที่มีส่วนประกอบสองส่วนคือ แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) และน้ำตาล แอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.2.4 ถั่วดำ ถั่วดำ มีสารพวกแอนโทไซยานิน โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคลโรทีน ในอะซิน วิตามินบี1 และบี2 โฟเลต แมกนีเซียม กรดแอลฟาไลโนริก วิตามิน บี 6 และเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใย มีประมาณสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทั้งหมด ในขณะที่โฟเลต มีประมาณถึง 17% ถั่วดำสามารถนำแปรรูปทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด (เพ็ญภา, 2544)

สีดำ สีดำ สัญลักษณ์ "ธาตุน้ำ" ให้คุณต่อไต มีสารพวกแอนโทไซยานิน ในทางสมุนไพร มีรสหวาน บำรุงเลือด ขับของเหลวในร่างกาย ขับลม ขับพิษ บำรุงไต ขับเหงื่อ แก้อ่อนใน บำรุงสายตา เหมาะสำหรับผู้ที่มีการบวมน้ำ เหน็บชา ติชาน ไตเสื่อม ปวดเอว

2.2.5 ถั่วขาว ปัจจุบันถั่วขาวได้รับความนิยมแปรรูปเป็นสารสกัดถั่วขาว เป็น เพื่อช่วยในการลดความอ้วน และยังเป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มอาหาร รวมทั้งอาหารเสริม เนื่องจากในถั่วขาวมีสารสำคัญที่ชื่อว่า ฟาซีโอลามิน (Phaseolamin) ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้เอนไซม์อะไมเลสมีสภาพเป็นกลาง แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคจึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ ซึ่งมีผลทำให้การสะสมของไขมันที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นไขมันลดลงด้วย (Newswit, 2009)

สีขาว สีขาว สัญลักษณ์ "ธาตุโลหะ" ให้คุณต่อปอด สารอาหารที่มีสีขาว สีขาวและสีน้ำตาล มีฤทธิ์ด้านการรวมตัวของเกล็ดเลือดและเพิ่มการสลายไฟบริโนเจน และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของ

ไขมันดีเท่ากับวิตามินซี ป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน มีฤทธิ์เสริมสมรรถภาพการทำงานของปอด

2.2.6 ลูกเดือย ลูกเดือยมีการปลูกกันมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลูกเดือยมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว มีสารอาหารสูงโดยเฉพาะเส้นใยอาหาร และยังมีสารที่มีองค์ประกอบเป็นกรดอะมิโนทุกชนิดในปริมาณที่สูงกว่าความต้องการตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (ยกเว้นเมไทโอนีนและไลซีน) รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ เช่น วิตามิน บี1 บี2 วิตามินอี แคลเซียม ฟอสฟอรัส (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของถั่ว 5 สี และลูกเดือย

องค์ประกอบทางเคมี	ถั่วเขียว	ถั่วแดง	ถั่วเหลือง	ถั่วดำ	ถั่วขาว	ลูกเดือย
ความชื้น(g)	10.2	9.7	4.9	9.8	9.3	10.6
พลังงาน(kcal)	351	356	591	355	423	367
โปรตีน(g)	21.7	22.5	24.4	22.9	34.2	13.4
ไขมัน(g)	1.5	2.1	44.1	2.2	16.7	5.03
คาร์โบไฮเดรต(g)	62.7	61.7	24.1	60.9	33.9	70.65
ใยอาหาร(g)	26.1	27.8	20.0	19.7	21.9	23
แคลเซียม(mg)	76	68	54	73	343	18.1
ฟอสฟอรัส(mg)	335	370	451	431	594	2516
เหล็ก(g)	7.4	6.4	8.9	17.0	8.9	47.4
วิตามินบี 1(g)	0.80	1.09	1.61	0.98	0.95	755
วิตามินบี 2(mg)	0.20	0.18	0.12	0.26	0.33	29

ที่มา : Thai Food Composition Tables 1999 โดย สถาบันวิจัยโภชนาการ , มหาวิทยาลัยมหิดล และข้อมูลถั่วขาว (Rahaman et.al. , 2005)

2.3 โภชนาการในผู้สูงอายุ (รุจิรา, 2543; บ.คริสตัล ไคแอกนอสติก, 2552; Chen and Huang, 2003)

เมื่อบุคคลมีอายุมากขึ้น ประสาทสัมผัสทั้งในด้านการมองเห็น การรับรส กลิ่น เสียง และสัมผัสจะด้อยลง ทำให้ความอยากอาหารของผู้สูงอายุลดลงด้วย จึงทำให้ผู้สูงอายุมักมีปัญหาจากการบริโภคจนอาจก่อให้เกิดภาวะขาดสารอาหาร หรือบริโภคไม่ถูกส่วน เนื่องจากไม่มีโอกาสได้รับอาหารที่เป็นประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม จึงก่อปัญหาสุขภาพให้กับผู้สูงวัย มีข้อมูลแนะนำการบริโภคที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงวัย ดังนี้

พลังงาน ความต้องการพลังงานของผู้สูงอายุจะลดลง เมื่อเทียบกับวัยเจริญเติบโต FAO/WHO แนะนำให้ลดพลังงานจากอาหารลง 5% ต่อทุก 10 ปี ของอายุที่เพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 59 ปี เมื่ออายุ 60-69

ปี ให้ลดพลังงานจากอาหารลง 10% และเมื่ออายุ 70 ปีขึ้นไป ให้ลดพลังงานลงไปอีกเป็น 20% ของพลังงานที่ต้องการในวัยหนุ่ม-สาว

โปรตีน เป็นสารอาหารที่ช่วยในการเสริมสร้าง และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย FAO/WHO/UNU ได้แนะนำ ปริมาณโปรตีนในวัยสูงอายุ ควรเป็น 10-12% ของพลังงานที่ได้รับ หรือ ประมาณ 0.75-0.8 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

ไขมันและน้ำมัน เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูง ย่อยยาก สมาคมโรคหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกา ได้แนะนำ ไม่ควรบริโภคไขมันเกิน 30% ของพลังงานที่ได้รับในแต่ละวัน น้ำมันและไขมัน ที่บริโภคควรเลือกชนิดที่ได้มาจากพืช ไขมันจากพืชทุกชนิดปราศจากโคเลสเตอรอล แต่มีกรดไลโนเลอิกสูง ซึ่งกรดนี้มีคุณสมบัติ ช่วยลดไขมันในหลอดเลือดได้

คาร์โบไฮเดรต ผู้สูงอายุ ควรได้รับคาร์โบไฮเดรตประมาณ 50-60% ของพลังงาน และควรเลือกคาร์โบไฮเดรตประเภทเชิงซ้อน คือ ข้าว แป้ง เผือก มัน หรือผลิตภัณฑ์จากธัญพืชอื่นๆ หลีกเลี่ยงหรือรับประทาน คาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยวให้น้อยลง ซึ่งได้แก่ น้ำตาล น้ำหวาน หรืออาหารที่มีน้ำตาลเป็นส่วนผสม

วิตามิน เป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับร่างกาย เพื่อช่วยในการเผาผลาญอาหารที่บริโภคให้เป็นพลังงาน และสามารถนำไปใช้ในร่างกาย ทำให้ร่างกายสามารถทำงานได้ตามปกติ เพิ่มภูมิคุ้มกันโรค และสร้างสารเคมีที่จำเป็นสำหรับร่างกาย วิตามินมีหลายชนิด มีหน้าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งร่างกายต้องการในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ปัญหาการขาดวิตามินในผู้สูงอายุพบได้เสมอ

เกลือแร่ เป็นสารอาหารอีกชนิดหนึ่ง ที่พบว่าการขาดในผู้สูงอายุ โดยเฉพาะแคลเซียม ฟอสฟอรัสและเหล็ก จากข้อกำหนดสารอาหารสำหรับผู้สูงอายุ กำหนดให้ผู้สูงอายุ ควรได้รับแคลเซียม และฟอสฟอรัสประมาณ 1,000-1,500 มิลลิกรัม/วัน เหล็กเป็นเกลือแร่อีกชนิดหนึ่ง ที่พบว่าการขาดในผู้สูงอายุ และทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ซึ่งทำให้ผู้สูงอายุเหนื่อยง่าย ความต้านทานโรคน้อยลง เจ็บป่วยได้ง่าย ทำให้ร่างกายอ่อนแอลง

ใยอาหาร ไม่ได้เป็นสารอาหารและไม่ได้ให้พลังงาน แต่ร่างกายควรได้รับทุกวัน เพราะช่วยในการขับถ่าย ซึ่งพบว่าผู้สูงอายุมักมีปัญหาท้องผูกอยู่เสมอ ใยอาหารช่วยกระตุ้นให้เกิดการบีบตัวของลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดการขับถ่ายได้สะดวก ผู้สูงอายุจึงควรได้รับใยอาหารให้เพียงพอด้วย ใยอาหารได้มาจากข้าวซ้อมมือ ถั่วต่างๆ ผักและผลไม้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยมาศ (2546) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้า ที่ได้จากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ คือ ข้าวเหลืองประทิว 123 , ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวชาซานิชิกิ มาทำการศึกษาในสถานะที่แตกต่างกัน คือ ระดับความชื้นของแป้ง , อุณหภูมิบารเรล และความเร็วรอบของสกรู จากการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิของบารเรล และความเร็ว

รอบของสกรูเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เอ็กส์ทรูเดตที่ได้มีอัตราการพองตัวเพิ่มสูงขึ้น และถ้าเพิ่มปริมาณความชื้นเริ่มต้น จะทำให้เอ็กส์ทรูเดตมีการพองตัวลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ ช่วยหล่อลื่นระบบภายในเครื่องเอ็กส์ทรูเดอร์ ทำให้ลดการเสียดสีและความดันลง ดังนั้นเมื่อได้ออกมาจากหน้าแปลน และเข้าสู่สภาวะความดัน ปกติแรงดันภายในของคดที่เกิดจากไอน้ำ จึงน้อยกว่าโดที่มีน้ำน้อยทำให้อัตราการพองตัวลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิบาร์เรล จะทำความดันไอน้ำของโดและความสามารถในการระเหยของไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เอ็กส์ทรูเดตเกิดการพองตัว เช่นเดียวกับกรณีการเพิ่มความเร็วยรอบของสกรู จะส่งผลให้เกิดแรงเฉือน และความดันในบาร์เรลเพิ่มมากขึ้น เอ็กส์ทรูเดตมีการพองตัว แต่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากแรงเฉือนมีผลกระทบต่อโครงสร้างของเม็ดแป้ง

Altan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการประเมินผลของอาหารขบเคี้ยวจากการผสมข้าวบาร์เลย์และกากมะเขือเทศโดยกระบวนการเอ็กส์ทรูชัน การผสมของแป้งข้าวบาร์เลย์ และกากของมะเขือเทศในกระบวนการการหมุนของ twin-screw เอ็กส์ทรูเดอร์ และการทดลองออกแบบจากอุณหภูมิหน้าแปลน (140 – 160°C) ความเร็วสกรู (150 – 160 rpm) ระดับของกากมะเขือเทศที่ (2 – 10 %) นำตัวแปรอิสระในการสร้างมารวมกัน 20 ค่าที่แตกต่างกัน ศึกษาการใช้โดยวิธีตอบสนองทางเนื้อสัมผัสในการตรวจสอบผลตอบสนองของตัวแปรของระบบ (SME , อุณหภูมิหลอมละลายหน้าแปลน , และอุณหภูมิหน้าแปลน) และอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ , ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ และดัชนีการถูกทำลาย, สี จากนั้นคัดเลือกสิ่งที่จำเป็นที่นำมาใช้ประมวลผลในทอมของสี , องค์ประกอบ , การชิม และทุกอย่างที่ยอมรับได้

Bhattacharya (1997) ได้ทำการศึกษาข้าวผสมถั่วเขียวที่ผ่านการอัดพองด้วยเครื่องเอ็กส์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ โดยใช้ขนาดบาร์เรลที่ 31 mm ให้อุณหภูมิภายในบาร์เรลในช่วง 100-175°C และความเร็วรอบของสกรูในช่วง 100-400 rpm เป็นตัวแปรศึกษาในการวิเคราะห์ค่าทอร์ก SME (specific mechanical energy) และวิเคราะห์คุณลักษณะของเอ็กส์ทรูเดตที่ได้ ได้แก่ อัตราการพองตัว ความหนาแน่น และความเค้นเฉือนสูงสุด การอธิบายค่าของฟังก์ชันที่กล่าวมา จะสัมพันธ์กับขอบเขต คือ $r \geq 0.87$, $p \leq 0.01$ กับตัวแปร คือ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิของบาร์เรล โดยใช้สมการสมการพอลิโนเมียลกำลังสอง พบว่า ค่าทอร์กระหว่างกระบวนการเอ็กส์ทรูชันจะมากที่สุดเมื่อค่าอุณหภูมิสูงสุด , ค่า SME จะแปรผันตรงกับระดับความเร็วรอบของสกรู ในขณะที่ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับอุณหภูมิและค่าความเร็วรอบของสกรูเพิ่มสูงขึ้น สรุปได้ว่าอุณหภูมิและความเร็วรอบเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอ็กส์ทรูชัน และคุณลักษณะของเอ็กส์ทรูเดต ดังนั้นอุณหภูมิของบาร์เรลที่สูงกับ ค่าความเร็วรอบของสกรูที่ต่ำจะเป็นสภาวะเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่พองตัว

Bo *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากของกระบวนการเอ็กส์ทรูชันในอาหารขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเป็นหลัก โดยกำหนดอัตราการป้อน (20-32%) ความชื้นเริ่มต้น (14-22%) ความเร็วรอบ

ของสกรู(180-320 rpm) และอุณหภูมิบารเรล(100-140 °C) โดยศึกษาคุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ,การขยายตัว,ค่า WAI และ WSI และทางประสาทสัมผัส คือ ความแข็ง (Hardness) กับความกรอบ(Crispness) พบว่า เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นทำให้เอ็กซ์ทรูเดต มีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ,ค่า WSI ลดลง , ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น , การขยายตัวลดลง , ค่าWAI WSI และความแข็งสูงขึ้น ในขณะที่ความกรอบลดลง เนื่องจากการเพิ่มความชื้นจะทำให้รูปร่างโมเลกุลของอะไมโลเพกตินในวัตถุดิบเปลี่ยนไปหรือเสียโครงสร้าง ทำให้ไม่เกิดการพองตัวและแตกตัวค่าที่ได้จึงได้ผลดังกล่าว และเมื่ออุณหภูมิของบารเรลสูงขึ้นทำให้เอ็กซ์ทรูเดตมีค่าการขยายตัว ,ค่า WSI และความกรอบเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นลดลง ส่วนความเร็วรอบของสกรูนั้นมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของเอ็กซ์ทรูเดตเพียงเล็กน้อยสำหรับในงานวิจัยนี้

Lu *et.al* (2006) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต ที่ผสมธัญพืชและองค์ประกอบต่างๆที่มีคุณค่าได้แก่ แป้งข้าวโพด 20% , แป้งถั่วchickpea 30% ,มะเขือเทศ แครอท และหัวหอมใหญ่ผงอย่างละ 5% ,ใบโหระพา 1.5% เป็นต้น พบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนวัตถุดิบ และความเร็วรอบของสกรูไม่มีผลกระทบต่อ สี รสชาติ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ในระดับความเชื่อมั่น 95% ในทางตรงกันข้าม เมื่อความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น จะทำให้การพองตัวและความแข็ง ของเอ็กซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบ จะทำให้ค่าความแข็งลดลง และอัตราการพองตัวเพิ่มมากขึ้น

Plunkett *et.al* (2007) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิบารเรล (75 – 150°C) และความเร็วการสกรูที่ (100 – 300 rpm)ที่มีผลต่อ L-ascorbic acid ในข้าวจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พบว่า อุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรู ทั้ง 2 ปัจจัยนี้ มีผลกระทบต่อปริมาณของL-ascorbic acid การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของสกรูไม่ค่อยมีผลต่อระดับของL-ascorbic acid เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบารเรล เมื่ออุณหภูมิบารเรลเพิ่มและความเร็วรอบของสกรูถึง200 rpm จะเกิดการสูญเสียของ L-ascorbic acid แต่ถ้าความเร็วรอบของสกรูมากกว่า 200 rpm จะไม่พบการสูญเสีย L-ascorbic acid ดังนั้นการผลิตอาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการนั้น ควรมีการคำนึงถึงประสิทธิภาพที่จะรักษา L-ascorbic acid ในระหว่างขบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันด้วย

Shirani and Ganesharanee (2009) ทำการวิจัยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซับน้ำ ค่าความแข็ง การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การทดสอบกลิ่น รสชาติ ความหยาบ สี ของเมล็ดพืชที่ชื่อ Fenugreek ที่มีสรรพคุณทางยา ในอัตราส่วน 5%,10%,15% และ 20% ของส่วนผสมของ ถั่ว Chickpea กับข้าว ในอัตราส่วน ระหว่างถั่ว Chickpea กับ ข้าว เท่ากับ 70 :30 ด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ผลปรากฏว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ ส่วนผสมที่ 15% ส่วนลักษณะของสีที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 5-15% ซึ่งผลสรุปที่ดีที่สุดอยู่ที่ส่วนผสมที่ 15%

บทที่ 3

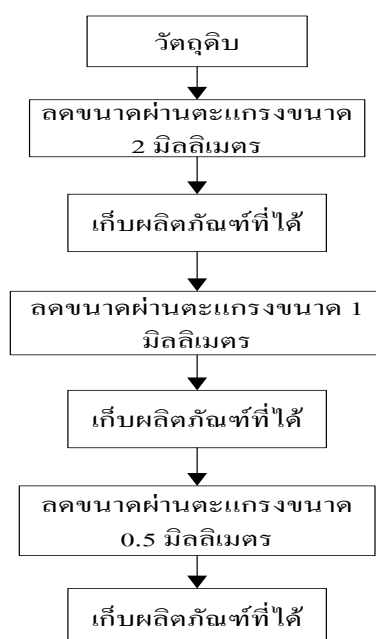
ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบที่ใช้

- 1) ถั่วเขียวผิวมัน
- 2) ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60
- 3) ถั่วแดงหลวง
- 4) ถั่วดำ
- 5) ถั่วขาว
- 6) ลูกเดือยพันธุ์ข้าวเจ้า
- 7) น้ำตาล
- 8) สารคาร์บอนेट

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ในการศึกษาได้นำวัตถุดิบแต่ละชนิด คือ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วขาว และลูกเดือย มาผ่านการบดด้วยเครื่อง Hammer mill 3 ครั้ง โดยการบดครั้งที่ 1 ใช้ตะแกรงของเครื่องบดขนาด 2 มิลลิเมตร การบดครั้งที่ 2 ใช้ตะแกรง 1 มิลลิเมตร และการบดครั้งที่ 3 ใช้ตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร จนได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัตถุดิบ ในช่วง 30-40 mesh



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

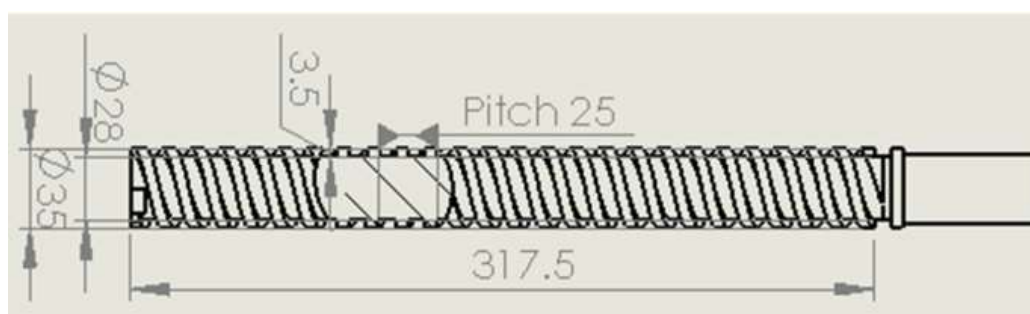
จากนั้นจึงนำวัตถุดิบที่ผ่านการบด มาผสมตามอัตราส่วนต่างๆของถั่วแต่ละชนิด และนำไปปรับสภาพให้มีความชื้นเริ่มต้นตามที่ต้องการก่อนนำไปป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต่อไป

3.3 ขั้นตอนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน

3.3.1 การเตรียมเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ในการทดลองครั้งนี้ ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว และทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนของสกรูขึ้นใหม่ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (d) 28 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (D) 35 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 25 มิลลิเมตร ความยาวเกลียว (L) 317.5 มิลลิเมตร ความลึกของร่องเกลียว (H) 3.5 มิลลิเมตร ระยะห่างของสกรูกับบาร์เรล (Clearance) 1 มิลลิเมตร โดยสกรูมีลักษณะเป็นเกลียว 2 ปาก (ดังแสดงในภาพที่ 3.1) เนื่องจากสกรูเดิมมีสภาพพื้นผิวที่สึกกร่อน ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ดี (ดังแสดงในภาพที่ 3.2) ชิ้นส่วนสกรูนับเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แบบผลิตภัณฑ์อาหารเช้า (breakfast cereal) และ ขนมขบเคี้ยว (snack)

ชิ้นส่วนสกรู



ภาพที่ 3 ชิ้นส่วนของสกรู



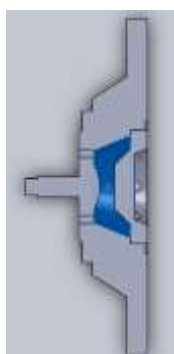
(ก) สกรูเก่า

(ข) สกรูใหม่

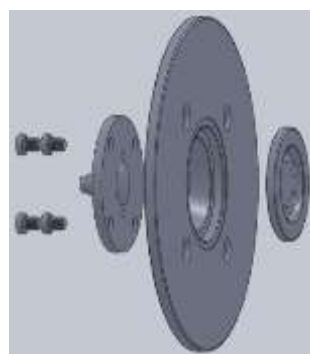
ภาพที่ 4 พื้นผิวของชิ้นส่วนสกรู

ชิ้นส่วนหน้าแปลน

นอกจากนั้นได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนของหน้าแปลนให้สามารถถอดทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น โดยออกแบบหน้าแปลนเป็น 2 ส่วน ให้ส่วนที่เป็นรูหน้าแปลนสามารถถอดแยกออกจากหน้าแปลนหลัก ซึ่งเดิมเป็นชิ้นเดียว โดยมีขนาดรูเปิดของหน้าแปลนเป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 3.4



(ก) หน้าแปลนเดิม

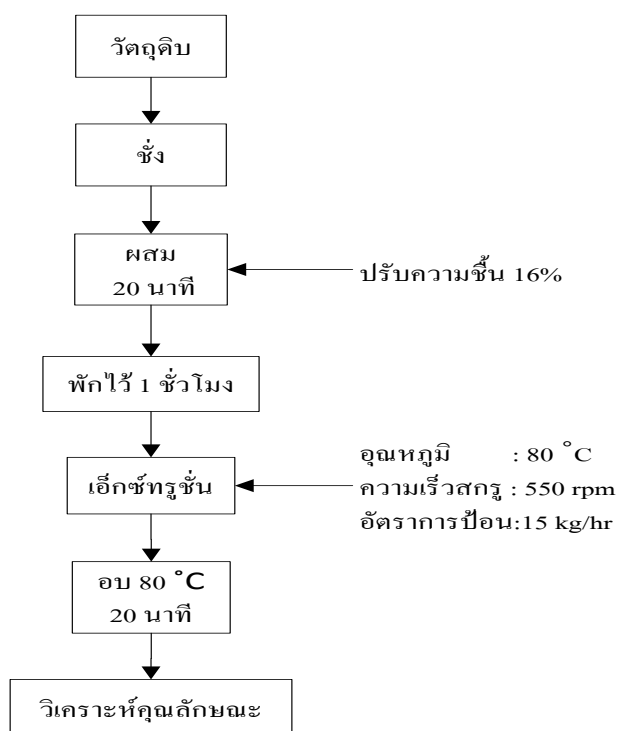


(ข) หน้าแปลนใหม่

ภาพที่ 5 ลักษณะหน้าแปลน

3.3.2 ขั้นตอนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน

นำวัตถุดิบถั่วแต่ละชนิดและลูกเคี้ยว มาผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด และปรับค่าความชื้นเริ่มต้นลงที่ 16 % ในเครื่องผสมแป้งเป็นเวลา 15 นาที ทำการปรับค่าสภาวะการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ อุณหภูมิบาร์เรล 70 °C อัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดำเนินการผลิตจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิ 115 °C จึงเริ่มเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ไปอบต่อในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 นาที ก่อนเก็บผลิตภัณฑ์บรรจุในถุงพลาสติกแบบ PP ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ



ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน

3.4 การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกระบวนการผลิต ที่มีผลต่อคุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ โดยนำถั่วแต่ละชนิดมาผสมกับลูกเดี๋ยย ปรับส่วนผสมระหว่างถั่วแต่ละชนิดกับลูกเดี๋ยยที่ 30:70, 50:50, 70:30 ความเร็วรอบของสกรูที่ 450 และ 550 rpm ประกอบด้วยการทดลองทั้งสิ้น 30 การทดลอง แสดงในภาพที่

การกำหนดค่าตัวแปรเป็นดังนี้

3.4.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variables)

1) อัตราส่วนน้ำหนักลูกเดี๋ยย: ถั่วแต่ละสี แบ่งเป็น 3 ระดับ

1.1) 70 : 30

1.2) 50 : 50

1.3) 30 : 70

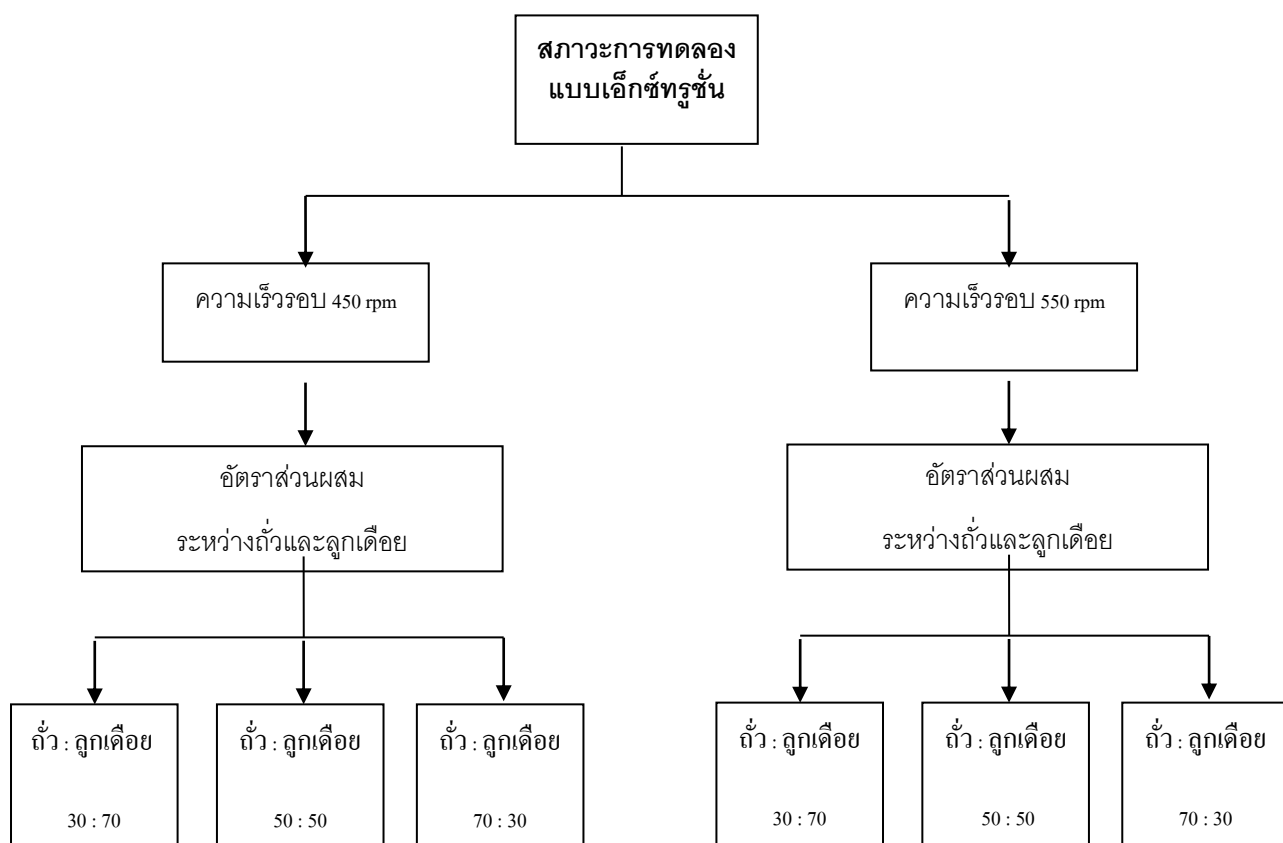
2) ความเร็วรอบของสกรู แบ่งเป็น 2 ระดับ

2.1) 450 rpm

2.2) 550 rpm

3.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) หรือคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

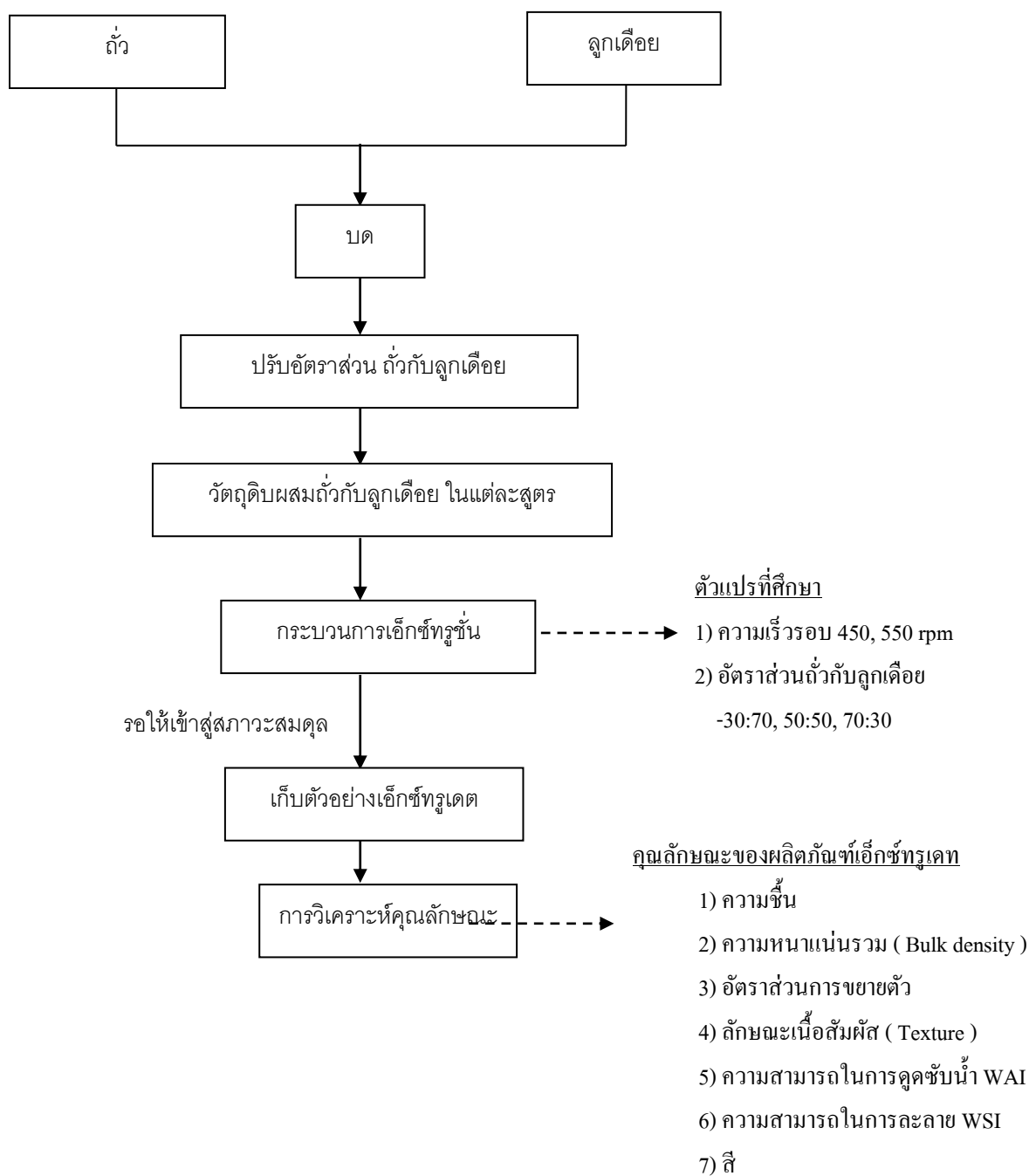
- 1) สี
- 2) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)
- 3) ความหนาแน่นรวม (Bulk density)
- 4) ความหนาแน่นจริง (True density)
- 5) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index)
- 6) ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index)
- 7) อัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio, ER)
- 8) ความชื้นของเอ็กซ์ทราคต
- 9) ความหนืด



ภาพที่ 7 แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design

หมายเหตุ ถั่วที่ใช้ทดลองมี 5 ชนิด (หรือ 5 สี: คือ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วขาว)

ดังนั้นรวมจำนวนการทดลอง 6×5 ชนิด = 30 การทดลอง



ภาพที่ 8 แสดงค่าตัวแปรในขั้นตอนการทดลอง

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราคต

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราคตที่ได้ นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (หรือค่าตัวแปรตาม ในข้อที่ 3.4.2) มีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 ค่าความชื้น (Moisture content) (AOAC, 1994)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเอ็กซ์ทราคตที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง 60 mesh จำนวน 2 กรัม ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมอบในที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ เพื่อคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียก จากสมการ

$$MC(\%) = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100 \quad (3-1)$$

3.5.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

นำผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราคตใส่ในกระบอกตวงที่มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จนล้นปากส่วนเกินออก ชั่งน้ำหนักเอ็กซ์ทราคตในกระบอกตวง บันทึกค่าที่ได้นำมาคำนวณ ค่าความหนาแน่นรวม จากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักเอ็กซ์ทราคตในกระบอกตวง}}{\text{ปริมาตรกระบอกตวง (1000 มิลลิลิตร)}} \quad (3-2)$$

3.5.3 ความหนาแน่นจริง (True Density)

นำผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราคตที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง 60 mesh ใส่ในภาชนะทรงกระบอกที่มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร จนล้นปากส่วนเกินออก ชั่งน้ำหนักเอ็กซ์ทราคต บันทึกค่าที่ได้นำมาคำนวณ ค่าความหนาแน่นจริง จากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักเอ็กซ์ทราคต}}{\text{ปริมาตรภาชนะ (50 มิลลิลิตร)}} \quad (3-3)$$

3.5.4 อัตราส่วนการขยายของผลิตภัณฑ์ - Expansion Ratio, ER (Alvarez-Martinez, 1988)

วิเคราะห์โดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราคตเปรียบเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของรูน้าแปลน นำมาคำนวณดังสมการคือ

$$ER = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่าง(mm)}}{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลน(mm)}} \quad (3-4)$$

3.5.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส -Texture

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-Xt Plus, Stable Micro system Co,Ltd) โดยใช้หัววัดแบบ Warner – Blatzler ทำการ calibrate force ด้วยค้อนน้ำหนักมาตรฐาน 2000 g ใช้ความเร็วของหัววัดเริ่มต้นเท่ากับ 1 mm/s ความเร็วขณะวัดเท่ากับ 1 mm/s ความเร็วขณะดึงหัววัดกลับเป็น 10 mm/s ระยะ strain 100% และแรง trigger 20 g. การแสดงผลเป็นกราฟ แกน x เป็นระยะทาง (mm) และแกน y เป็นค่าแรง (kg.) ทำการวัด 5 ซ้ำ อ่านค่าลักษณะเนื้อสัมผัสดังนี้

$$\text{Hardness} \left(\frac{\text{g}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{\text{แรงแตกหักสูงสุด}}{\text{พื้นที่ตัวอย่างที่ทำกรวัด}} \quad (3-5)$$

$$\text{Crispness} = \text{จำนวน peak} \quad (3-6)$$

3.5.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (WSI)

(Anderson,1969)

นำตัวอย่างเอ็กซ์ทรูเดทที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh จำนวน 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก ทำการคนอย่างสม่ำเสมอ เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาเหวี่ยงแยกด้วยเครื่อง Centrifuge โดยใช้ความเร็ว 3000 g เป็นเวลา 10 min แยกส่วนใสที่ได้ลงในจานระเหยที่ชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักของตะกอนที่ก้นหลอด เพื่อคำนวณค่า WAI จากสมการ

$$\text{WAI(g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \quad (3-7)$$

ส่วนใสที่ได้นำไประเหย ก่อนนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C จนน้ำหนักคงที่นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณค่า WSI จากสมการ

$$\text{WSI(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3-8)$$

3.5.6 สี –Color

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยทำการปรับเทียบเครื่องวัดสีก่อนการวัด ใช้มาตรฐานสีในระบบ CIE ใส่ตัวอย่างที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง 60 mesh ในตลับตัวอย่าง ทำการวัด 5 ซ้ำ นำมาคำนวณค่าสีเฉลี่ย

3.6 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต้น (อัตราส่วนของถั่ว และความเร็วยรอบสกรู) กับค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราเกต ด้วยวิธี Regression analysis ในรูปแบบสมการพหุนามอันดับที่ 2 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2 \quad (3-9)$$

เมื่อ X_i = ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1), ความเร็วยรอบของสกรู (X_2)

Y_i = คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราเกต ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่น อัตราส่วนการขยายตัว ค่าสี ค่าความสามารถในการดูดซับและละลายน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส

a_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

เมื่อ i, j = 0, 1, 2

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

เมื่อนำผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทที่ได้ตามแผนการทดลองที่สภาวะต่างๆมาวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้แสดง ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทที่สภาวะการทดลองต่างๆ

Sample	Bean (%)	Screw Speed	MC (%)	BD (g/cm ³)	TD (g/cm ³)	ER (เท่า)	WAI (g/g)	WSI (%)	L*	a*	b*
ถั่วเขียว:ลูกเดือย (JG)	30	450	4.30	0.15	0.44	2.01	4.43	18.54	70.63	8.54	20.4
		550	2.16	0.08	0.40	1.94	4.69	32.77	74.37	9.61	21.64
	50	450	5.68	0.17	0.53	2.02	4.75	28.42	68.16	10.35	22.83
		550	4.25	0.09	0.48	2.13	4.13	35.84	79.34	8.59	20.59
	70	450	4.84	0.21	0.51	1.83	3.45	45.96	65.74	12.19	24.02
		550	4.21	0.10	0.49	2.15	3.49	40.52	79.6	8.89	21.75
ถั่วแดง:ลูกเดือย (JR)	30	450	3.23	0.22	0.57	1.89	4.27	19.88	64.17	8.2	13.57
		550	3.19	0.26	0.53	1.69	4.57	21.98	79.06	6.32	21.03
	50	450	2.54	0.30	0.58	1.90	4.66	16.88	64.23	9.1	13.58
		550	2.39	0.12	0.55	2.00	4.67	21.95	70.79	7.79	14.68
	70	450	4.52	0.35	0.64	1.52	4.96	16.31	69.84	9.68	9.23
		550	2.61	0.22	0.59	1.86	5.11	17.73	75.74	7.4	11.29
ถั่วดำ:ลูกเดือย (JB)	30	450	3.07	0.16	0.49	1.83	4.33	20.08	64.44	9.54	14.42
		550	3.79	0.15	0.50	1.88	4.59	28.46	76.05	8.07	13.04
	50	450	3.41	0.32	0.59	1.66	4.61	15.97	62.16	7.97	12.24
		550	3.49	0.17	0.49	1.91	4.57	25.17	73.14	7.63	12.72
	70	450	3.24	0.24	0.66	1.69	4.41	23.47	59.52	9.68	15.27
		550	5.09	0.11	0.43	1.72	4.88	18.22	65.89	9.36	18.67
ถั่วขาว:ลูกเดือย (JW)	30	450	2.94	0.15	0.54	1.87	4.96	21.73	68.54	10.12	16.55
		550	3.83	0.10	0.56	1.99	5.04	25.88	74.53	7.78	16.33
	50	450	4.99	0.21	0.58	1.65	4.55	20.28	70.55	8.88	15.72
		550	3.53	0.13	0.58	1.91	4.71	22.23	71.83	8.42	18.36
	70	450	3.13	0.30	0.61	1.65	4.59	19.07	64.63	11.52	20.59
		550	3.16	0.15	0.56	1.89	4.60	21.73	72.02	8.41	18.74
ถั่วเหลือง:ลูกเดือย (JY)	30	450	4.14	0.22	0.45	1.73	3.84	21.35	64.9	9.98	21.26
		550	3.18	0.19	0.49	1.62	4.02	22.14	70.92	7.63	23.13
	50	450	5.09	0.46	0.59	1.01	3.00	18.73	62.63	10.21	27.24
		550	5.66	0.34	0.55	1.36	3.21	17.50	66.27	8.08	26.57
	70	450	6.32	0.50	0.55	0.95	3.38	20.88	56.15	12.01	28.19
		550	6.61	0.37	0.56	0.97	3.71	18.26	71.69	10.01	30.08

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเอ็กซ์ทราคต์ต่อพื้นที่ที่สัมผัส ในอัตราส่วนแก้ว
ต่างๆ

Sample	Bean	Screw speed	Hardness	Crispness
ถั่วเขียว:ลูกเดือย (JG)	30	450	0.039	0.079
		550	0.034	0.087
	50	450	0.040	0.084
		550	0.032	0.089
	70	450	0.046	0.114
		550	0.027	0.092
ถั่วแดง:ลูกเดือย (JR)	30	450	0.054	0.142
		550	0.082	0.989
	50	450	0.039	0.076
		550	0.044	0.746
	70	450	0.104	0.138
		550	0.072	0.806
ถั่วดำ:ลูกเดือย (JB)	30	450	0.042	0.084
		550	0.050	0.120
	50	450	0.074	0.128
		550	0.048	0.117
	70	450	0.055	0.104
		550	0.040	0.097
ถั่วขาว:ลูกเดือย (JW)	30	450	0.033	0.079
		550	0.042	0.092
	50	450	0.101	0.109
		550	0.040	0.089
	70	450	0.066	0.122
		550	0.046	0.102
ถั่วเหลือง:ลูกเดือย (JY)	30	450	0.039	0.049
		550	0.038	0.055
	50	450	0.195	0.139
		550	0.084	0.094
	70	450	0.064	0.074
		550	0.194	0.167

4.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากวัตถุดิบผสมของถั่ว 5 สี

วัตถุดิบผสมของถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วเหลือง ถั่วดำ และถั่วขาว) กับลูกเดี๋ย เมื่อนำมาผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ โดยมีค่าตัวแปร อัตราส่วนผสมของถั่ว แล

ะความเร็วรอบต่างกัน ผลกระทบต่อคุณลักษณะสามารถอธิบายด้วยความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ และความเร็วรอบต่างๆ มีรายละเอียด ดังนี้ (แสดงรูปผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทในภาคผนวก ก.1-ก.5)

4.2.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content, MC)

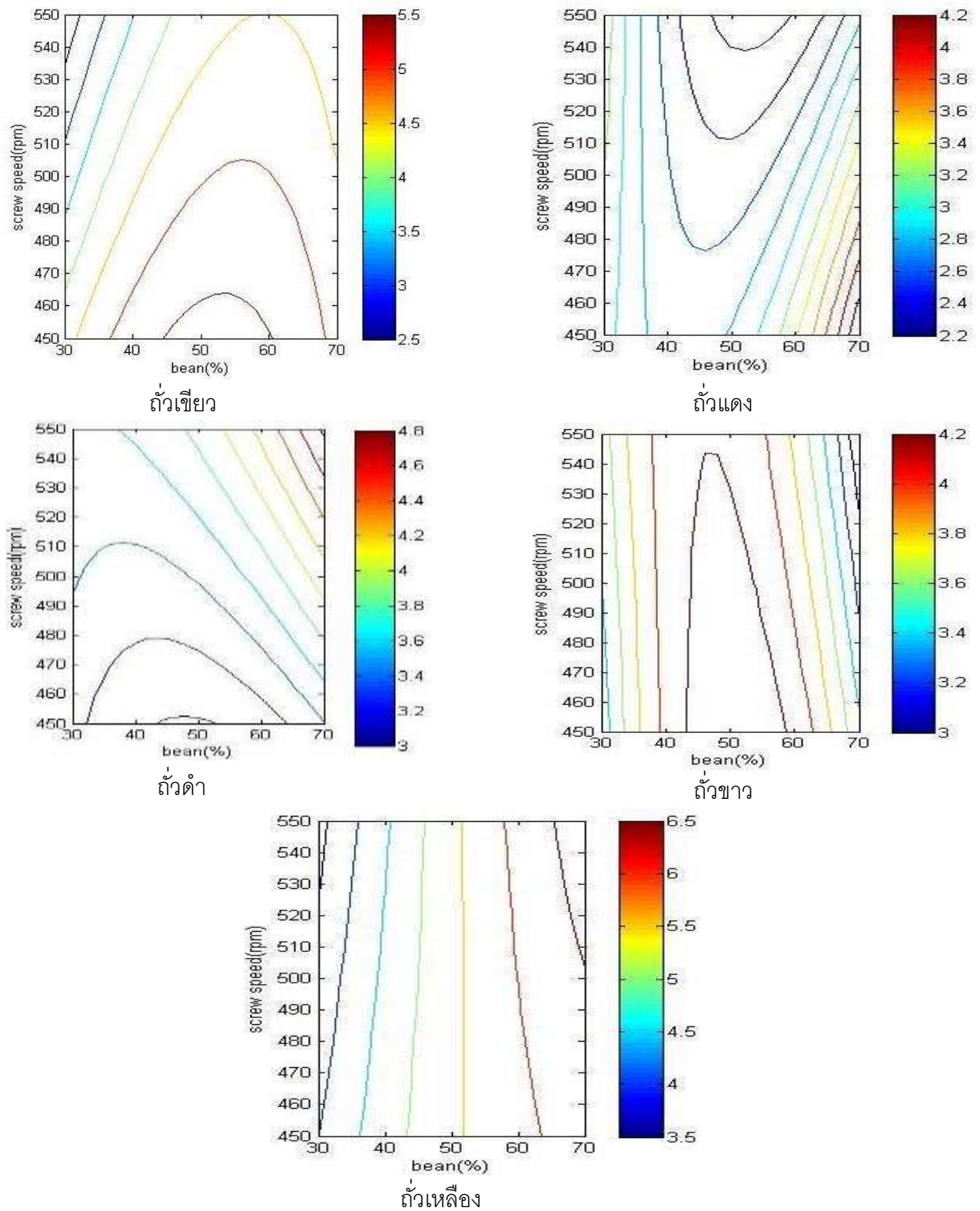
ความชื้นของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมจากถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว- JG, ถั่วแดง -JR, ถั่วดำ - JB, ถั่วขาว -JW และถั่วเหลือง -JY) จากสภาวะการผลิตต่างๆ เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับปัจจัยที่ศึกษา ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู (X_2) โดยให้ความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้นคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ความสัมพันธ์ที่ได้ของถั่วแต่ละชนิด แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-9 เพื่ออธิบายค่าความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

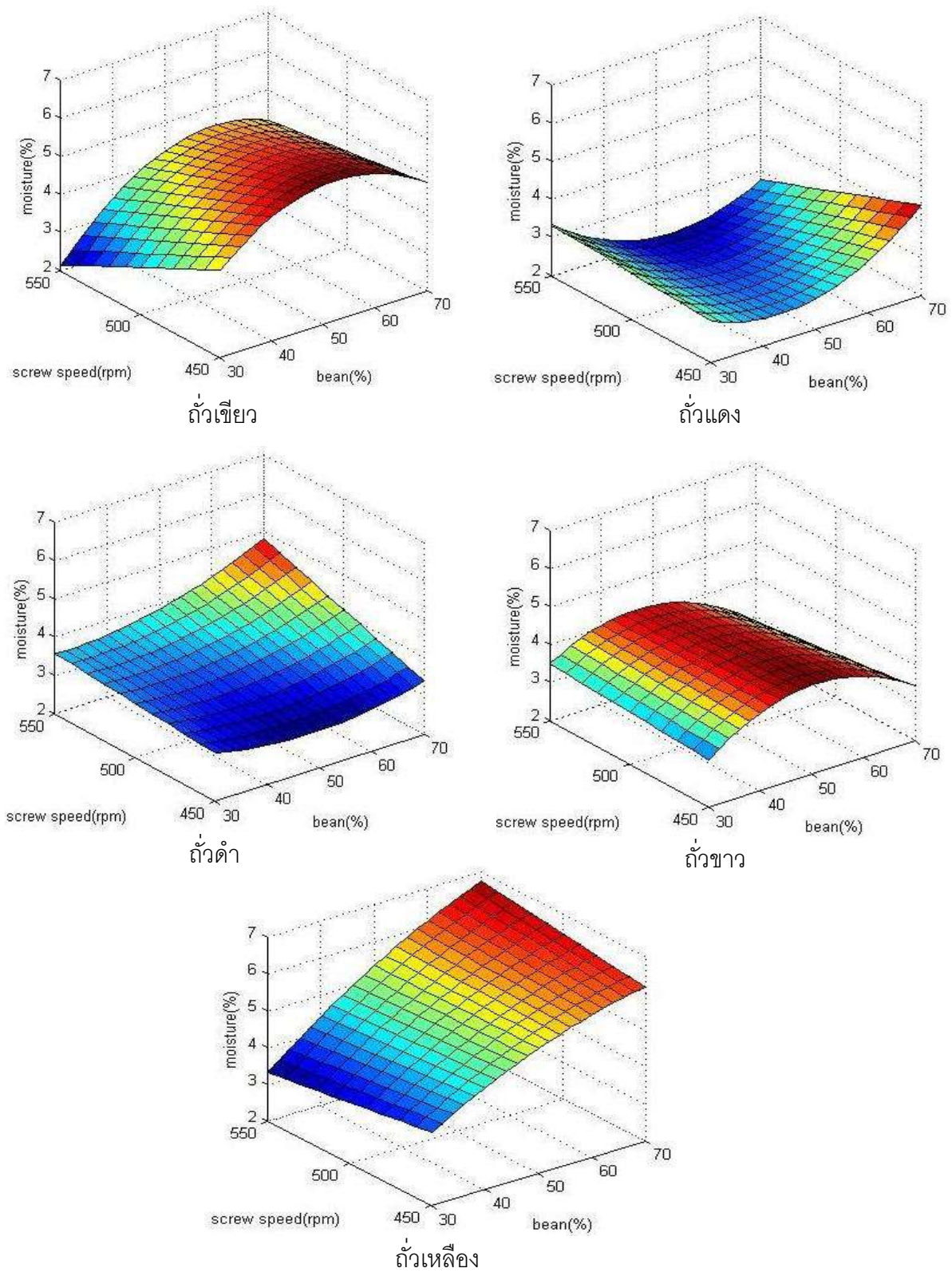
สัมประสิทธิ์ ในสมการ	ค่าความชื้น(%wb)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max(%wb)	6.2647	3.9944	4.5886	5.3934	6.7120
Min(%wb)	1.9931	1.5644	2.2968	2.6565	3.0110
a_0	13.028569***	7.374809**	-0.453824	1.211139	7.870450***
a_1	0.114566	-0.210089**	0.013199	0.051616	-0.007921
a_2	-0.032964***	-0.005345	0.016453***	0.005884	-0.015856**
a_{12}	0.000380**	0.000283**	-0.000468***	-0.000237**	0.000310**
a_{11}	-0.002720***	0.000868	0.002298***	0.001010**	-0.000767*
R^2	0.883235	0.748119	0.888073	0.875697	0.957077
SE	0.454174	0.412626	0.288152	0.304179	0.295116

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

เมื่อนำผลความสัมพันธ์จากข้อมูลในตาราง 4.3 มาพลอตกราฟ (แสดงดังภาพ 4.1-4.2) ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วง 2.16 - 6.61 % ซึ่งค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัตถุดิบผสมของถั่วเขียวให้ค่าต่ำกว่าถั่วชนิดอื่น ขณะที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองให้ค่าสูงสุด จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรู จาก 450 rpm เป็น 550 rpm มีผลให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง



ภาพที่ 9 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบสกรูที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 10 แสดง Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบสกรูที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์

ทั้งนี้เพราะการเพิ่มความเร็วยรอบสกรูนั้น เป็นการช่วยเพิ่มแรงเฉือน ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายใน บาร์เรล วัตถุดิบมีอุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลแป้งสามารถแตกตัว ให้น้ำภายในระเหยออกมาได้ง่ายขึ้น จึงมีผลทำให้ความชื้นลดลง ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนของถั่วนั้น มีผลทำให้ค่าความชื้นลดลง ซึ่งถั่วแต่ละสปีชีส์ให้ค่าความชื้นที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

การเพิ่มอัตราส่วนถั่วเขียวในวัตถุดิบผสมนั้น พบว่ามีผลให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่อัตราส่วนถั่วเขียวประมาณ 57% นั้น ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นสูงสุด จากนั้นความชื้นผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนถั่วเขียวมากขึ้น

การเพิ่มอัตราส่วนถั่วแดง มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง จนกระทั่งเมื่ออัตราส่วนของถั่วแดงในวัตถุดิบผสมมีค่า 50 % ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะให้มีความชื้นต่ำสุดที่ 2.4% ซึ่งช่วงนี้เกิดจากการแตกตัวของโมเลกุลแป้งได้ดี ทำให้น้ำระเหยออกได้มากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนถั่วแดงมากขึ้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากถั่วแดงมีส่วนประกอบที่เป็นใยอาหาร โปรตีน และไขมันสูง การทำลายพันธะของโมเลกุลแป้งกระทำไดยากขึ้น ดังนั้นน้ำภายในจึงระเหยออกได้น้อยลง

การเพิ่มอัตราส่วนถั่วดำนั้น พบว่าที่อัตราส่วนถั่วดำที่ 70% นั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความชื้นสูงสุด สาเหตุอาจมาจาก การเพิ่มปริมาณถั่วแดงมีผลต่อการสุกของถั่วยากขึ้น เนื่องจากปริมาณไฟเบอร์ โปรตีน และไขมันในถั่วแดงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นน้ำจึงระเหยออกมาได้น้อยลง

การเพิ่มอัตราส่วนถั่วขาว ทำให้มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น จนถึงที่อัตราส่วน 50% ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความชื้นสูงสุด ประมาณ 5% และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนถั่วขาวมากขึ้น พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะถั่วขาวมีองค์ประกอบของแป้งน้อย การแตกตัวของโมเลกุลแป้งเกิดขึ้นได้ง่าย น้ำจึงสามารถระเหยออกไปได้มากขึ้น ความชื้นผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลง

การเพิ่มอัตราส่วนถั่วเหลืองจะทำให้มีค่าความชื้นสูงขึ้น เนื่องจากถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันสูง ซึ่งมีผลทำให้แรงเสียดทานภายในบาร์เรลลดลง ทำให้พลังงานที่เปลี่ยนสภาพทำผลิตภัณฑ์ให้สุกมีค่าลดลง จึงส่งผลให้มีค่าความชื้นภายในวัตถุดิบเพิ่มขึ้น

4.2.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

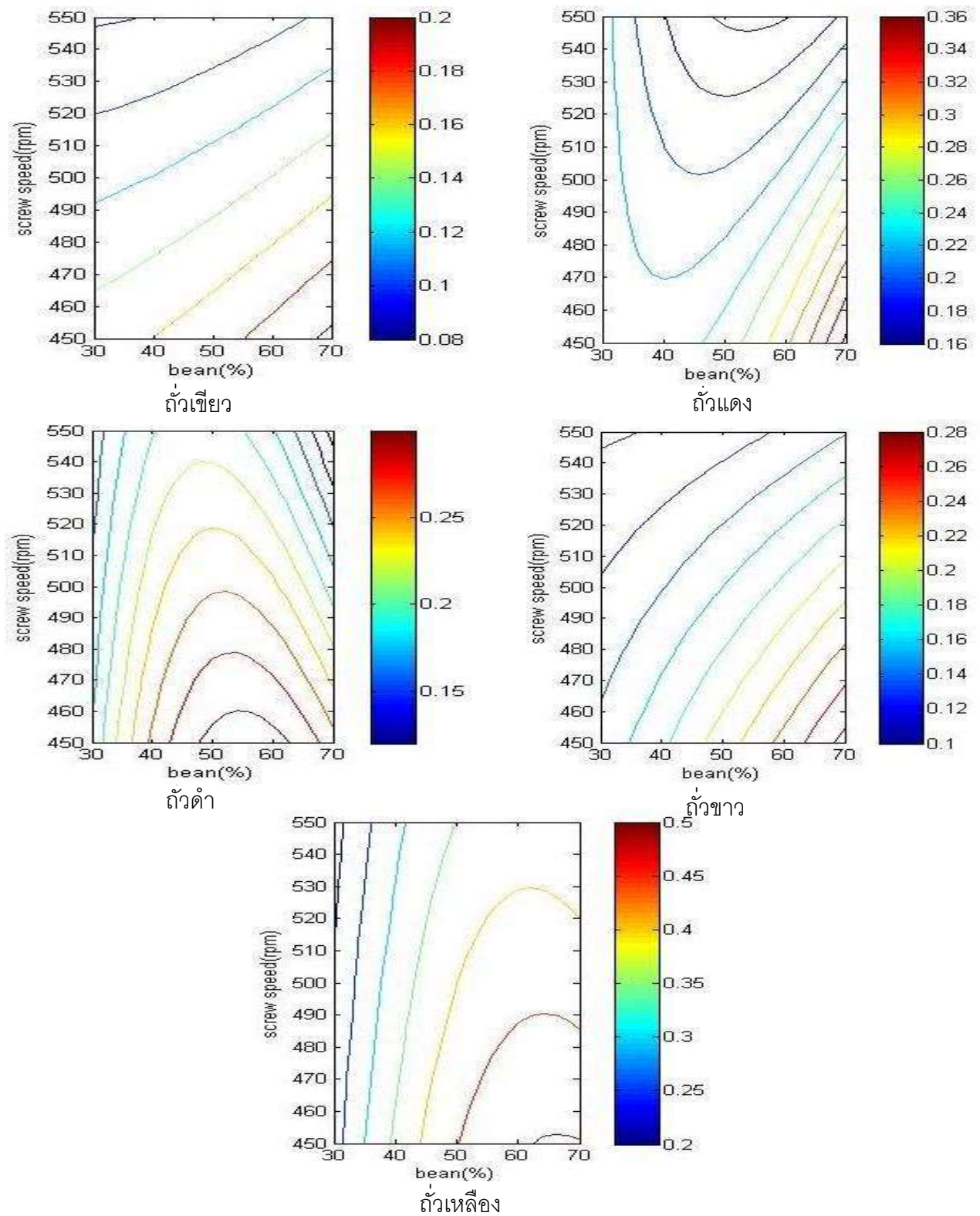
ค่าความหนาแน่นรวมของเอ็กซ์ทราคต์ ที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมของถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว, ถั่วแดง, ถั่วดำ, ถั่วขาว และถั่วเหลือง) กับลูกเดี๋ย เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสถานะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว (X_1) กับความเร็วรอบสกรู (X_2) โดยใช้สถานะความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้นคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ความสัมพันธ์ที่ได้มีรายละเอียด ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-9 เพื่ออธิบายค่าความหนาแน่นรวมที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

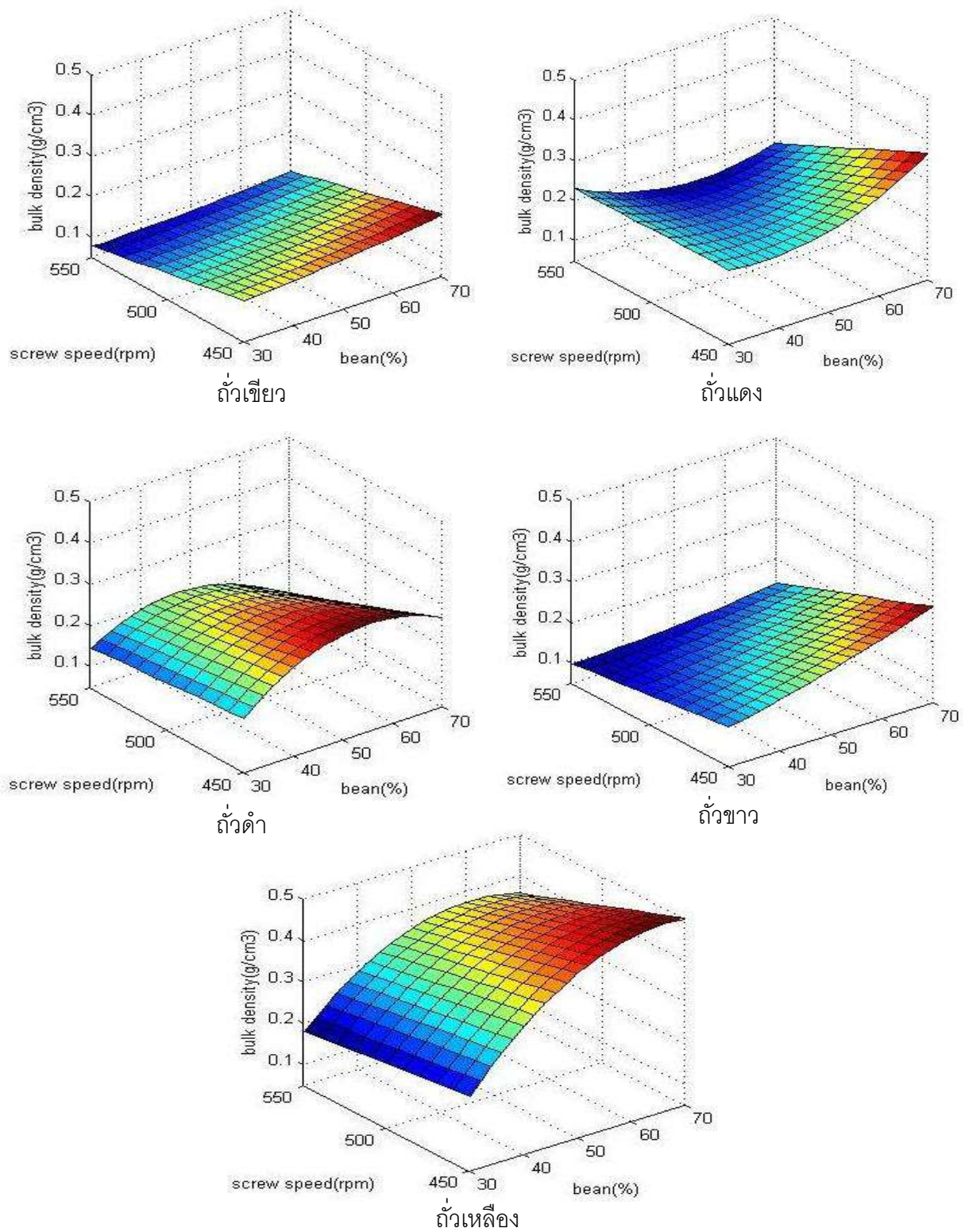
สัมประสิทธิ์ ในสมการ	ค่าความหนาแน่นรวม (g/cm ³)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max(g/cm ³)	0.2083	0.3210	0.3570	0.32843	0.50811
Min(g/cm ³)	0.0689	0.1066	0.1224	0.09893	0.18724
a ₀	0.369466***	-0.55457***	-0.175681	-0.038709	-0.509814***
a ₁	0.003250***	0.035948***	0.010596	0.012978***	0.038093***
a ₂	-0.000521	0.000545	0.001274**	0.000260	0.000234
a ₁₂	-0.000007***	-0.000030***	-0.000044***	-0.000025***	-0.000024***
a ₁₁	0.000012***	-0.000203***	0.000125**	0.000018	-0.000205***
R ²	0.973665	0.937634	0.825992	0.968928	0.990711
SE	0.009020	0.020415	0.035415	0.013919	0.012809

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01

เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 มาพลอตกราฟ แสดงดังรูป 4.3-4.4 พบว่าค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง 0.07 – 0.50 g/cm³ ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วเขียวมีค่าต่ำสุด ขณะที่ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองมีค่าสูงสุด การเพิ่มความเร็วยรอบสกรู จาก 450 rpm เป็น 550 rpm มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะการเพิ่มความเร็วยรอบสกรูนั้น เป็นการเพิ่มแรงเฉือนให้กับวัตถุดิบ ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในบาร์เรล มีผลทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น น้ำสามารถระเหยออกมาได้ง่าย มีผลให้ค่าความหนาแน่นลดลง ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนถั่ว นั้น มีผลให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบทางเคมีของถั่วมีส่วนของโปรตีนสูงกว่าลูกเดี๋ย หรือธัญพืชประเภทอื่น การเพิ่มอัตราส่วนของถั่วจึงเพิ่มปริมาณโปรตีน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโพรงอากาศภายในมีขนาดเล็กลงและมีความหนาแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์มากขึ้น



ภาพที่ 11 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 12 แสดง Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์

อีกทั้งปริมาณไฟเบอร์ของแต่ละแก้วที่เพิ่มขึ้น จะเป็นตัวทำให้น้ำระเหยได้น้อยลง ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น

การผสมที่อัตราส่วนแก้ว 70% และใช้ความเร็วรอบต่ำ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความหนาแน่นรวมสูงสุด วัตถุดิบจากแก้วเหลืองให้ค่าความหนาแน่นรวมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแก้วชนิดอื่น เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนแก้วเหลือง มีค่าไขมันสูง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดคมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นอีก

4.2.3 ความหนาแน่นจริง(True Density)

ค่าความหนาแน่นจริงของเอ็กซ์ทรูเดคที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมจากแก้ว 5 สี (แก้วเขียว, แก้วแดง, แก้วดำ, แก้วขาว และแก้วเหลือง) กับลูกเต๋อย ที่สภาวะต่างๆ เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของแก้ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู(X_2) โดยให้ความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้นคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ความสัมพันธ์ที่ได้ มีรายละเอียดดังตารางที่ 7

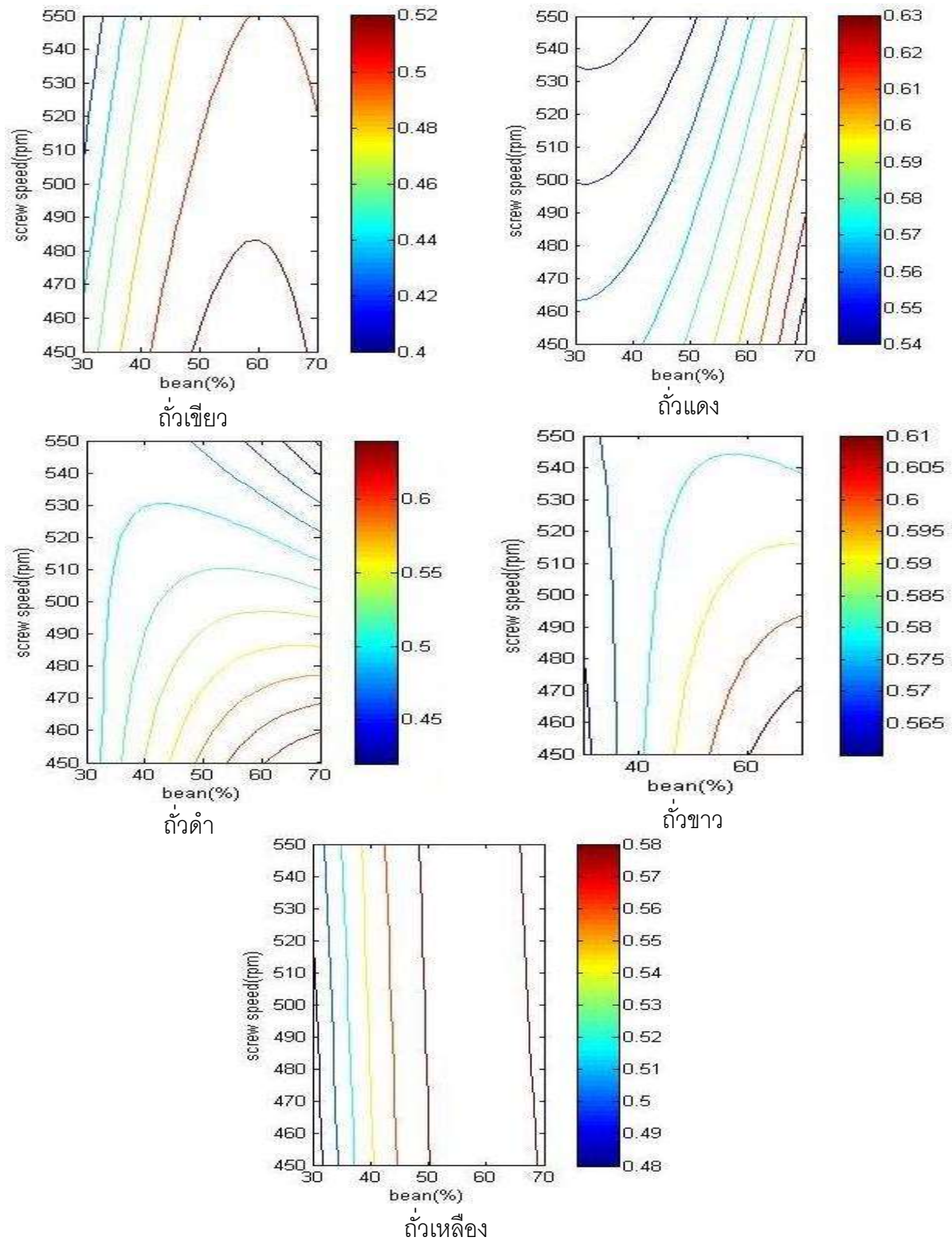
ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าความหนาแน่นจริงที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ

ถดถอย

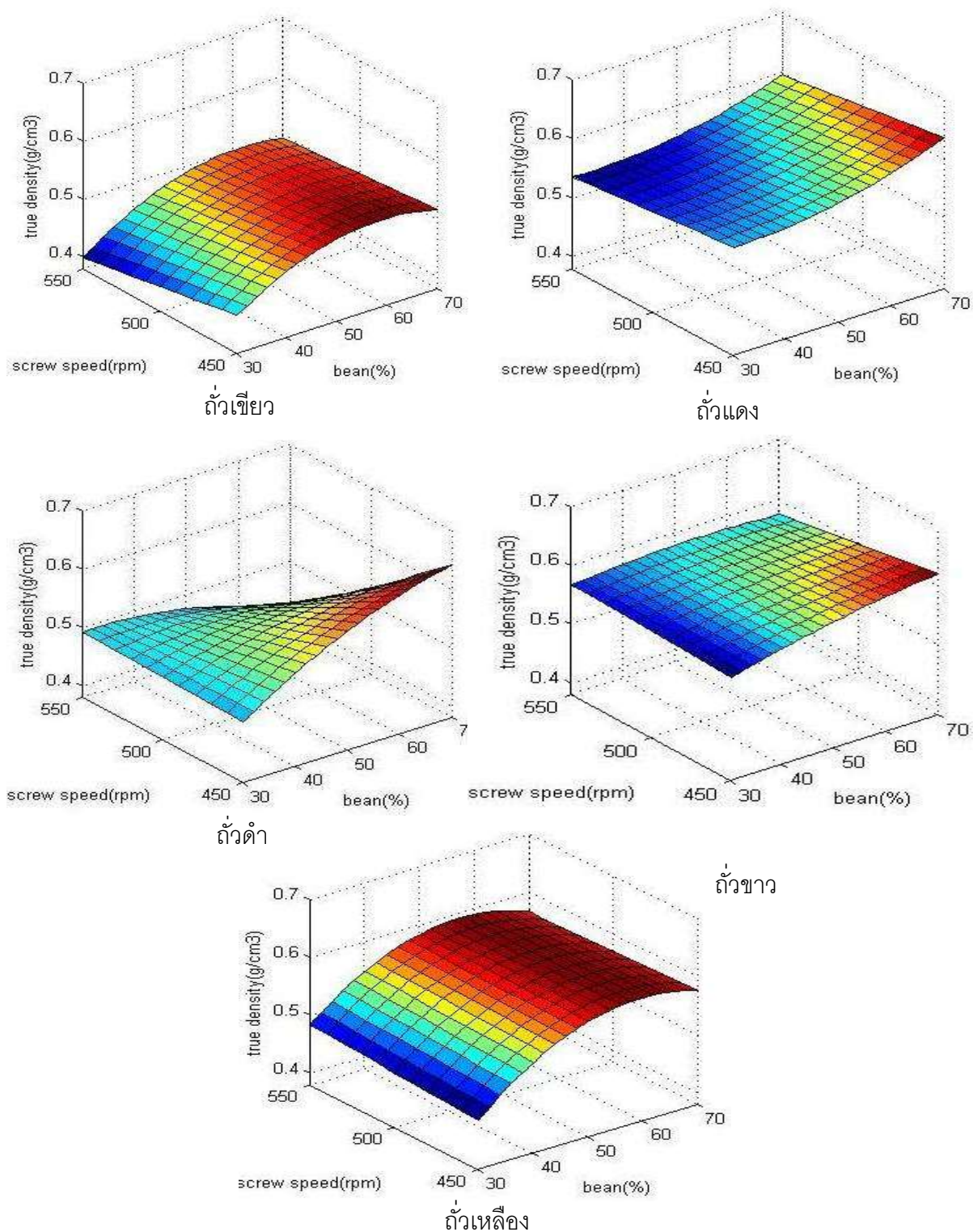
สัมประสิทธิ์ ในสมการ	ค่าความหนาแน่นจริง (g/cm ³)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max(g/cm ³)	0.5389	0.6631	0.6426	0.6277	0.6081
Min(g/cm ³)	0.3834	0.4190	0.5161	0.5369	0.4384
a_0	0.468738***	-0.560834***	0.689526***	0.274274***	-0.101931
a_1	0.009368***	0.035499***	-0.001355	0.005876**	0.020530***
a_2	-0.000647**	0.001808***	-0.000191	0.000513***	0.000394
a_{12}	0.000006	-0.000058***	-0.000003	-0.000011***	-0.000007
a_{11}	-0.000103***	-0.000055***	0.000045***	0.000010***	-0.000146***
R^2	0.913394	0.980793	0.926116	0.873346	0.722877
SE	0.015474	0.012306	0.010994	0.010638	0.033130

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตาราง 4.5 มาพลอตกราฟ ซึ่งแสดงได้ดังรูป 4.5-4.6 ค่าความหนาแน่นจริงของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง 0.40 – 0.66 g/cm³ ซึ่งค่าความหนาแน่นจริงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแก้วเขียวมีค่าต่ำสุด ขณะที่ความหนาแน่นจริงของผลิตภัณฑ์จากแก้วดำมีค่าสูงสุด



ภาพที่ 13 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู
ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นจริงของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 14 แสดง Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นจริงของผลิตภัณฑ์

จากกราฟเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรู จาก 450 rpm เป็น 550 rpm มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นจริงมีค่าลดลง สาเหตุอาจมาจากการเพิ่มความเร็วรอบสกรูนั้น เป็นการเพิ่มแรงเฉือนเข้าไป ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในบาร์เรล มีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น น้ำภายในโมเลกุลสามารถระเหยออกมาได้ง่าย มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงเล็กน้อย ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนของถั่วนั้น มีผลให้ค่าความ

หนาแน่นจริงเพิ่มขึ้นด้วย และมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนถั่วที่ 70% ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบมีปริมาณไฟเบอร์ โปรตีน และไขมันเพิ่มขึ้น ทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่มีความแน่นเนื้อมากขึ้น ผลที่ได้ในทำนองเดียวกับค่าความหนาแน่นรวม

4.2.4 ค่าอัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio)

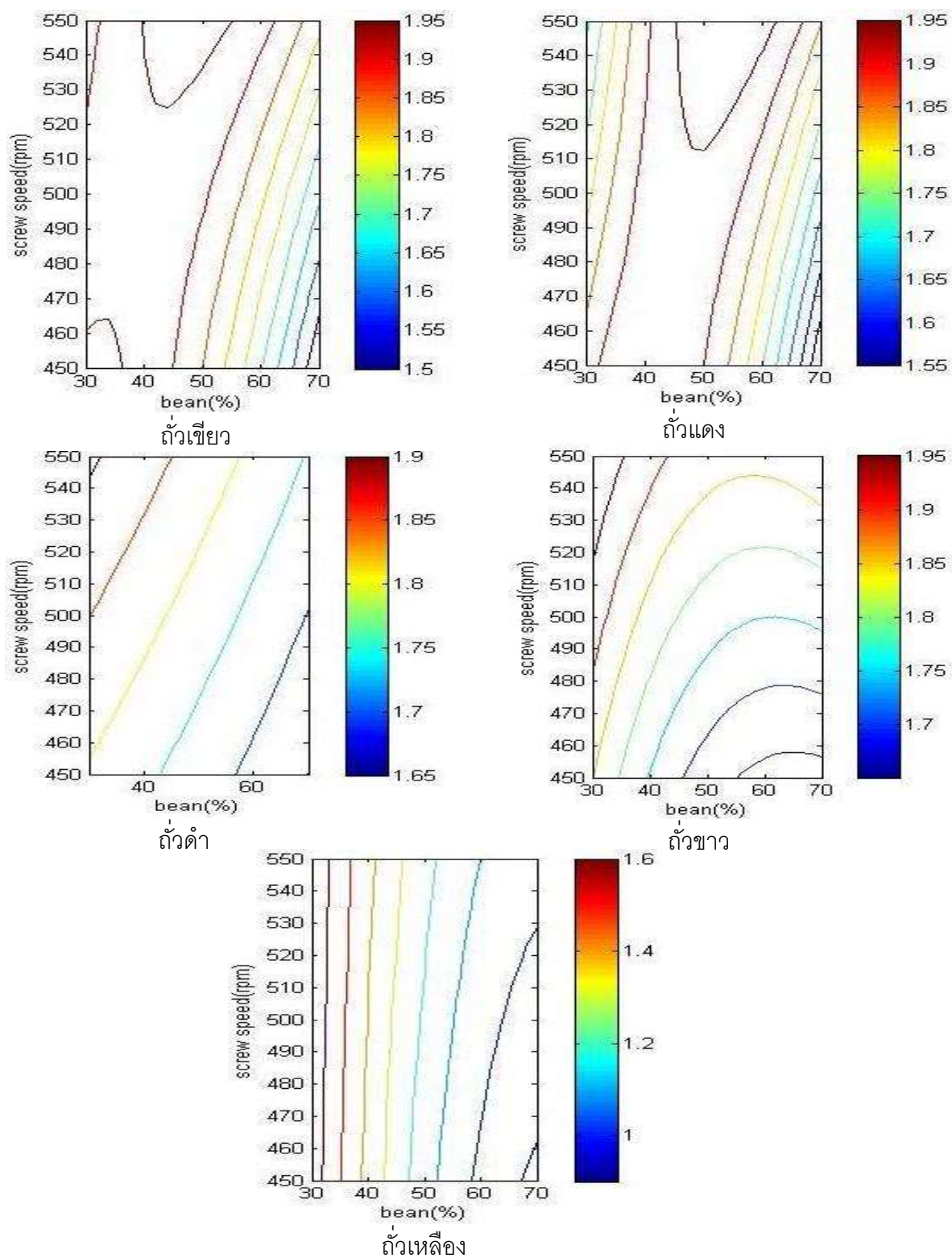
ค่าอัตราส่วนการขยายตัวของเอ็กซ์ทรูเกตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมของถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว, ถั่วแดง, ถั่วดำ, ถั่วขาว และถั่วเหลือง) กับลูกเดี๋ย ที่สภาวะต่างๆ เมื่อ นำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู(X_2) โดยให้ความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้นคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ความสัมพันธ์ที่ได้มีรายละเอียด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าอัตราส่วนการขยายตัวที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

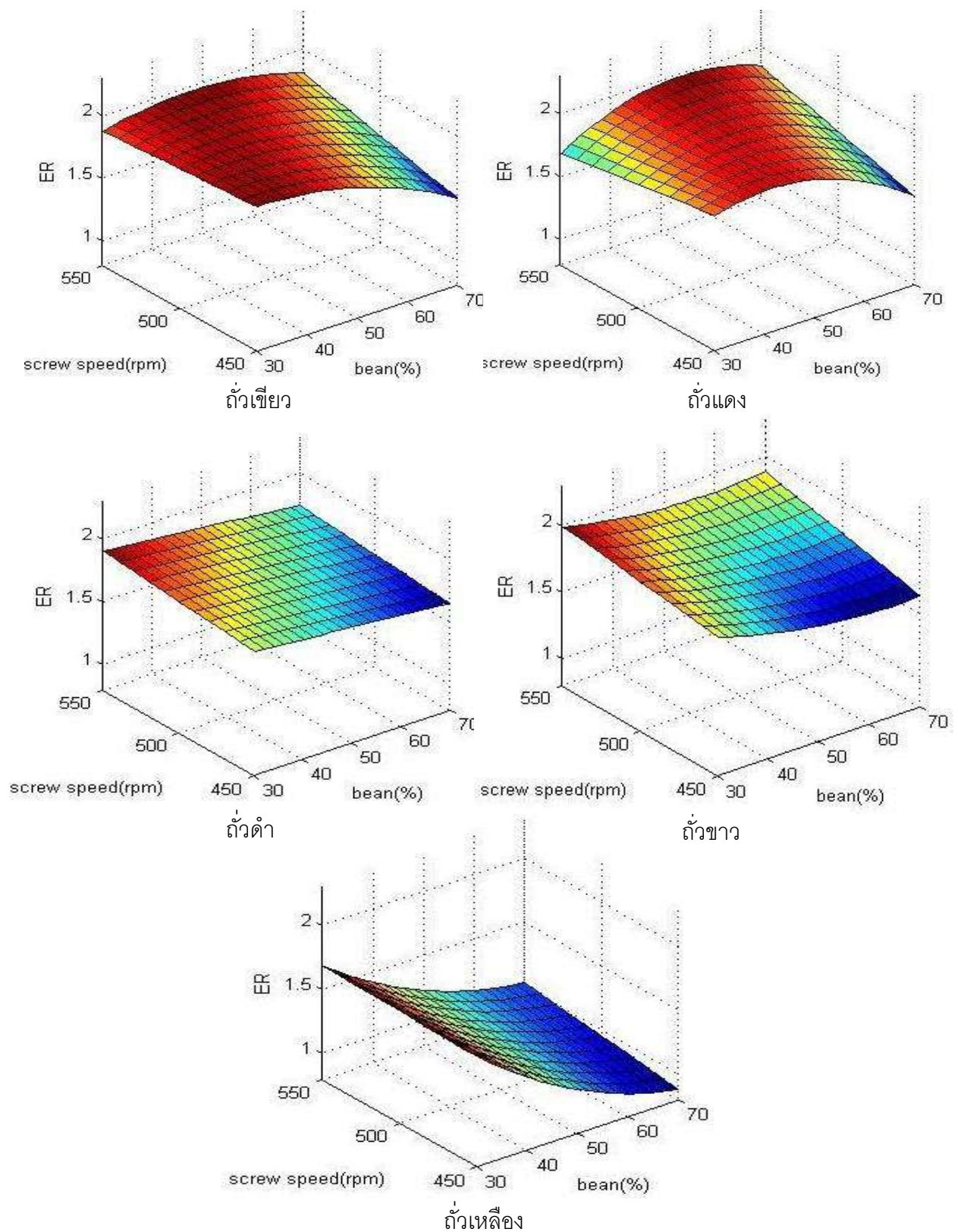
สัมประสิทธิ์ ในสมการ	อัตราส่วนการขยายตัว (เท่า)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max	2.2571	2.0143	2.0952	2.0762	1.7595
Min	1.7452	1.5929	1.4738	1.5905	0.8167
a_0	3.376200***	1.320317***	3.756166***	2.112966***	3.213790***
a_1	-0.026119***	-0.001024	-0.018012***	-0.035577***	-0.065512***
a_2	-0.003781**	0.001257**	-0.006001***	0.000604	-0.000659
a_{11}	0.000099	-0.000004	0.000136***	0.000028**	0.000031*
a_{12}	-0.000229***	-0.000008	-0.000526***	0.000175***	0.000321***
R^2	0.752938	0.583727	0.923154	0.784180	0.889702
SE	0.064758	0.071335	0.048153	0.069126	0.111350

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 มาพลอตกราฟ แสดงดังภาพที่ 4.7-4.8 ค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ ในช่วง 0.95 – 2.15 เท่า ซึ่งค่าอัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วเหลืองมีค่าต่ำสุด ขณะที่อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียวมีค่าสูงสุด



รูป 15 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่ออัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์



รูป 16 แสดง Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่ออัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์

จากกราฟเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรูจาก 450 rpm เป็น 550 rpm มีผลทำให้อัตราส่วนการขยายตัวมากขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มความเร็วรอบ ทำให้แรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อวัตถุดิบออกผ่านรูหน้าแปลนน้ำ จะระเหยออกอย่างรวดเร็ว ผลึกกันจึงพองตัวมาก มีผลทำให้ค่าอัตราส่วนการขยายตัวมีค่าเพิ่มขึ้น

ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนของถั่วเน่า มีผลให้อัตราส่วนการขยายตัวลดลง เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เอ็กซทรูเดตมีเนื้อที่แน่นมากขึ้น ประกอบกับปริมาณไฟเบอร์ที่สูงขึ้น ซึ่งยากต่อการพองตัว จึงมีผลทำให้เอ็กซทรูเดตมีอัตราส่วนการขยายตัวลดลง

ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนของถั่วแดง ที่อัตราส่วน 45 % พบว่าจะให้ค่าการพองตัวสูง อาจเป็นเพราะคุณสมบัติของถั่วแดง ที่อยู่ในสภาวะทางมีค่าความร้อนและความชื้นที่เหมาะสม โมเลกุลภายในเกิดการแตกตัวทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถั่วแดงสูงขึ้น การพองตัวกลับมีค่าลดลง

สำหรับวัตถุดิบผสมของถั่วเหลืองให้ค่าอัตราการขยายตัวต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่น เนื่องจากถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูง มีผลให้การพองตัวลดลง

4.2.5 ค่าความสว่าง (Lightness, L^*)

ค่าความสว่างของเอ็กซทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมของถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว, ถั่วแดง, ถั่วดำ, ถั่วขาว และถั่วเหลือง) ที่สภาวะต่างๆ เพื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู(X_2) โดยกำหนดให้ค่าความชื้นวัตถุดิบคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ได้ความสัมพันธ์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 9

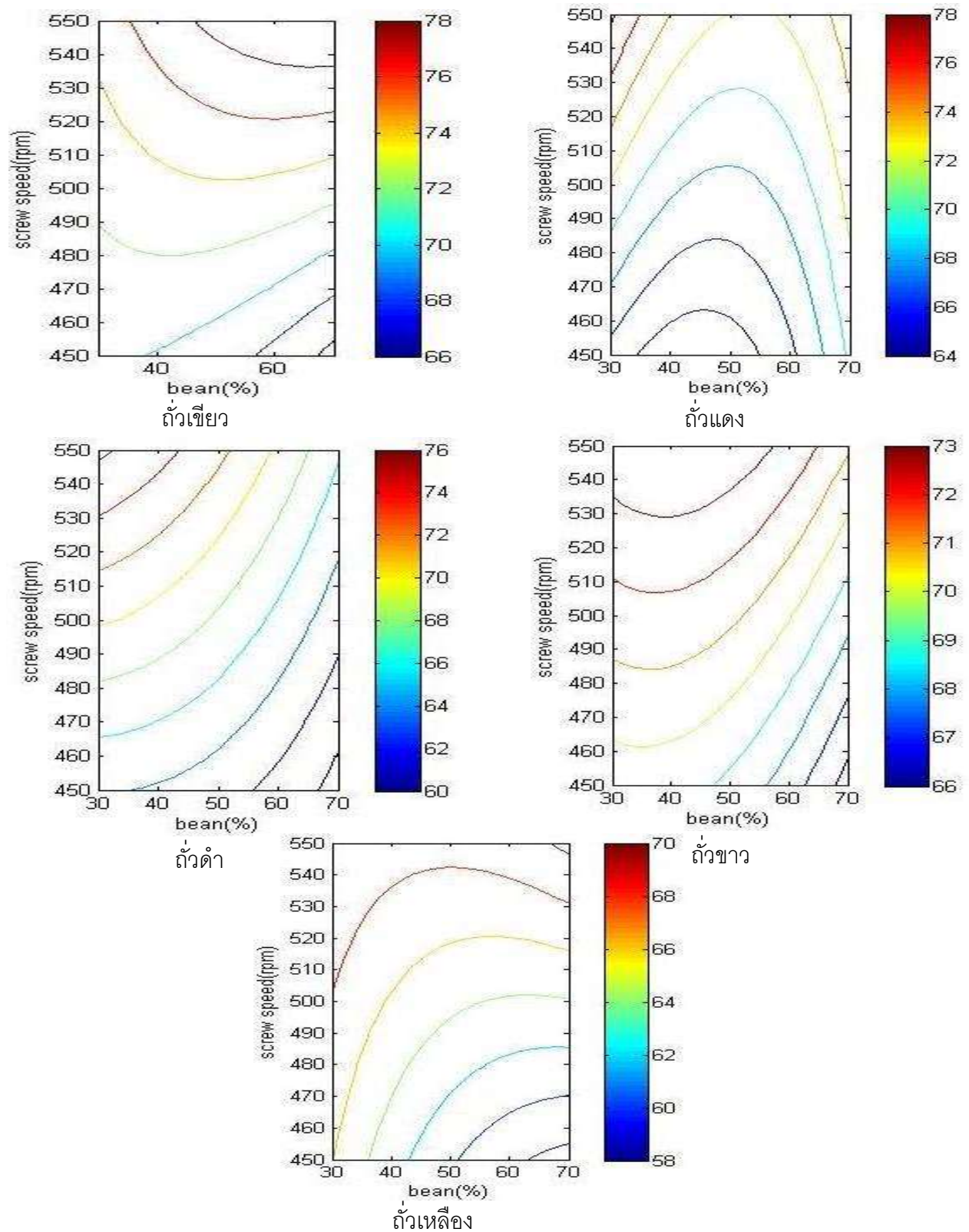
ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าความสว่างที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

สัมประสิทธิ์ ในสมการ	ค่าความสว่าง				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max	79.72	76.07	79.16	74.65	71.86
Min	65.52	58.91	63.93	64.53	55.87
a_0	81.523958***	-11.226389*	-0.912569	51.692847***	96.020417***
a_1	-0.968750***	0.759083***	-0.128417	0.059083	-1.654417***
a_2	-0.030558**	0.161928***	0.194947***	0.031281	-0.034883
a_{12}	0.002529***	-0.001308***	-0.002113***	0.000351	0.002378***
a_{11}	-0.002915***	-0.002933***	0.012073***	-0.003148	0.003654
R^2	0.988025	0.991058	0.973886	0.830934	0.895250
SE	0.680111	0.653632	1.023962	1.511778	1.994630

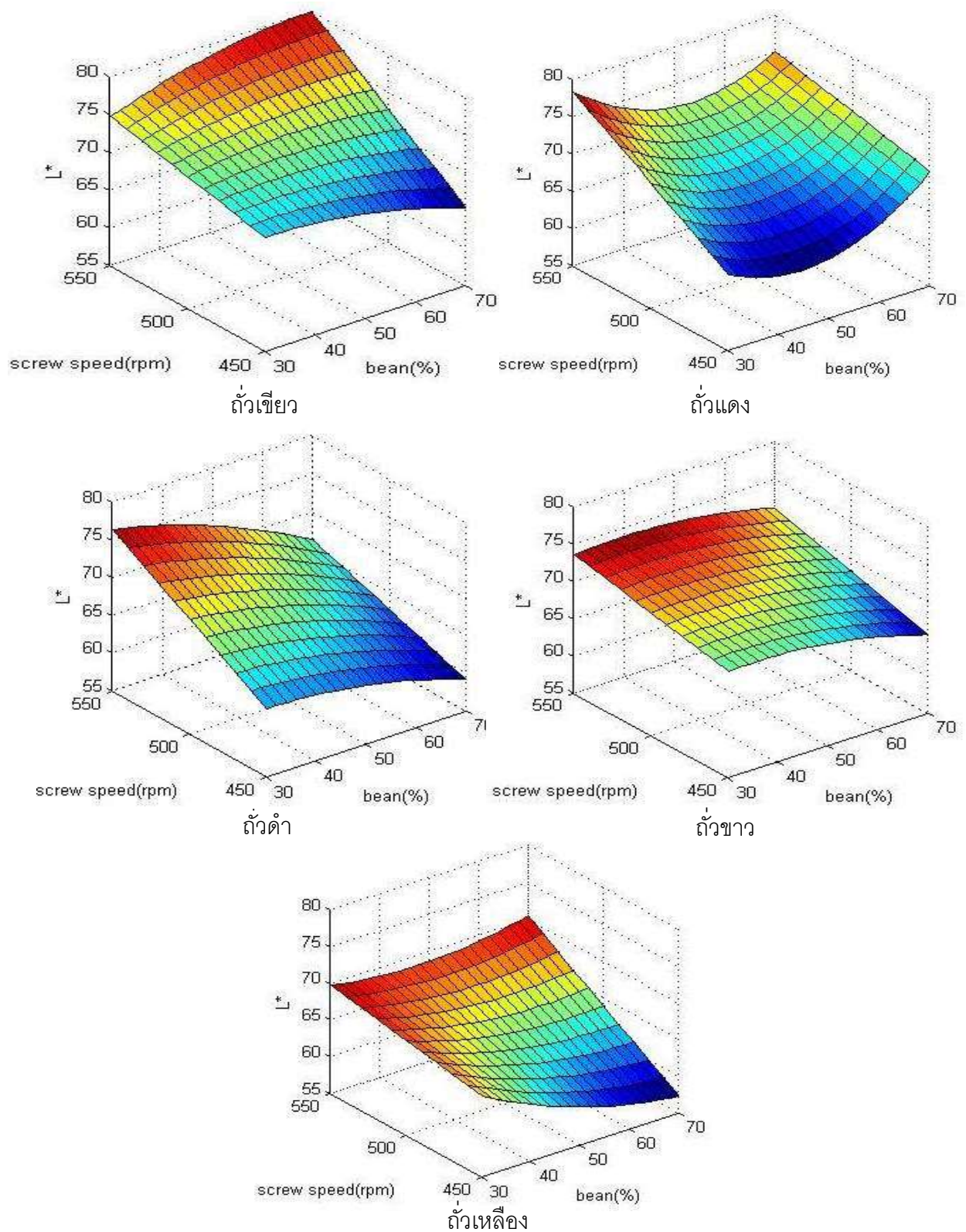
หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตาราง 4.7 มาพลอตกราฟ ซึ่งแสดงได้ดังรูป 4.9-4.10 ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง 55.87 – 79.82 ซึ่งค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วเหลืองมีค่าต่ำสุดที่ ขณะที่ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียวมีค่าสูงสุด จากกราฟ การเพิ่มความเร็วยรอบสกรูมีผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น

ส่วนการเพิ่มปริมาณถั่วนั้น พบว่ามีผลให้ค่าความสว่างลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนถั่วนั้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรต เกิดการทำลายของกรดอะมิโน และความร้อนทำให้รงควัตถุในถั่วเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล มีสีเข้ม สำหรับถั่วแดงนั้นพบว่า เมื่อผสมถั่วแดงในอัตราส่วน 45-50 % จะมีค่าความสว่างต่ำสุด และมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนถั่วแดง



ภาพที่ 17 แสดง Contour plot ของ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู ที่มีผลต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 18 แสดง Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู ที่มีผลต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์

4.2.6 ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a^*)

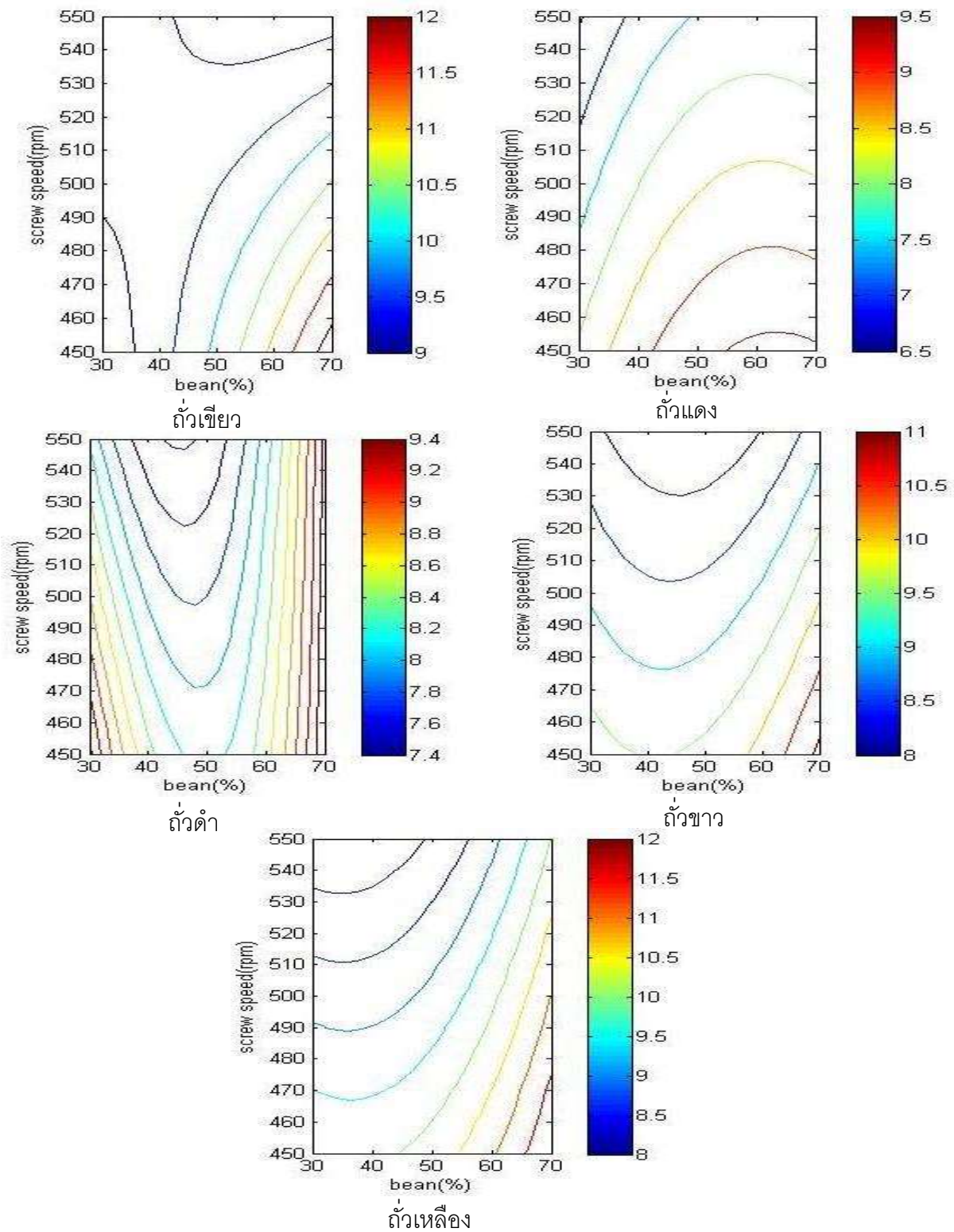
ค่าความเป็นสีแดงของเอ็กซ์ทราคตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมของถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว, ถั่วแดง, ถั่วดำ, ถั่วขาว และถั่วเหลือง) กับลูกเดี๋ย ที่สภาวะต่างๆ เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู(X_2) โดยกำหนดให้ความชื้นวัตถุดิบคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ให้ความสัมพันธ์มีรายละเอียด ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าสีแดงที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

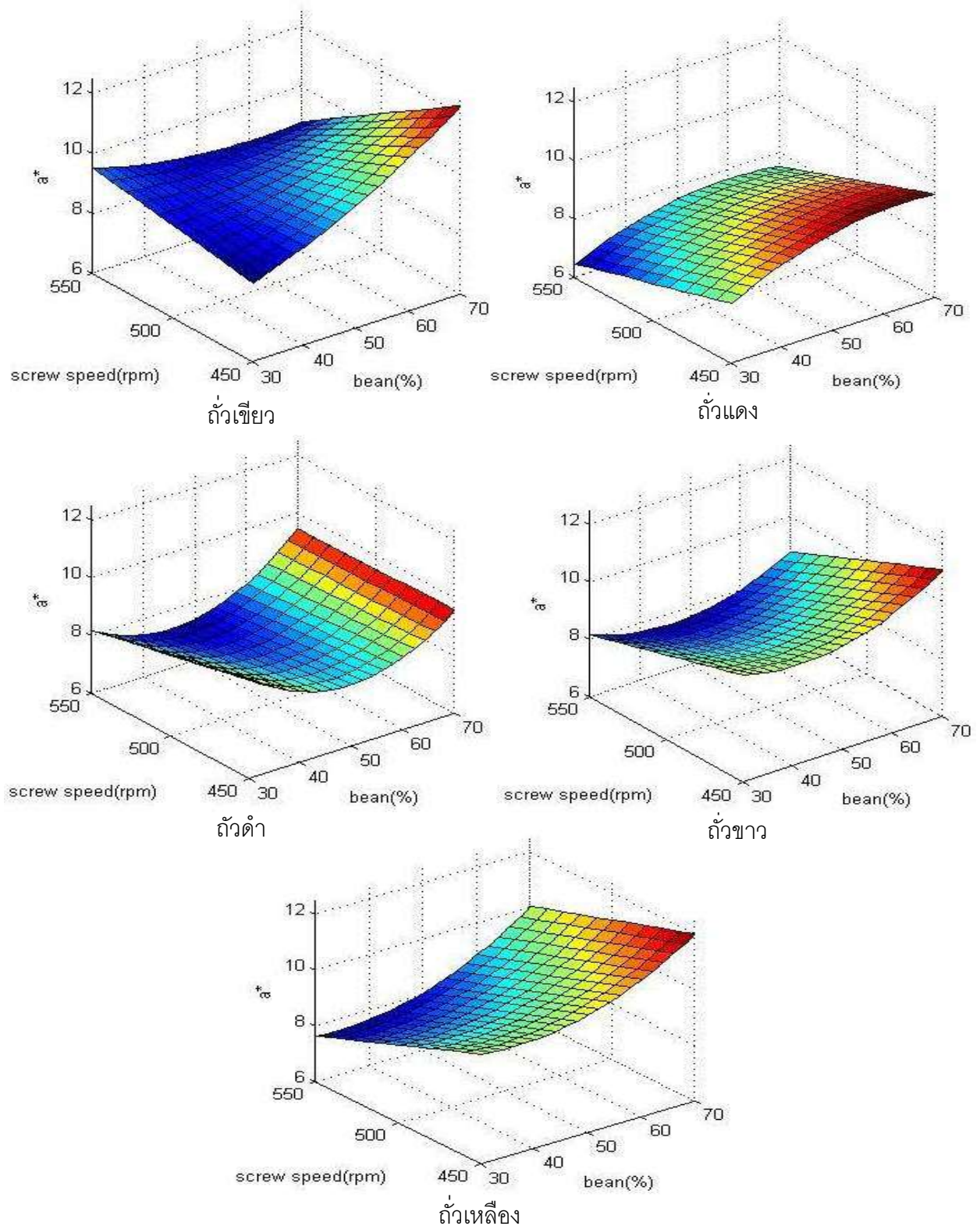
ส.ป.ส. สมการ	ค่าความเป็นสีแดง				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max	12.26	9.86	9.80	11.62	12.07
Min	8.43	7.61	6.26	7.75	7.55
a_0	-10.96715***	26.209306***	10.04500***	17.468958***	24.096736***
a_1	0.49933***	-0.467583***	0.218667***	-0.080250	-0.177917
a_2	0.041431***	-0.021578***	-0.013233***	-0.010075	-0.025914
a_{12}	-0.001094***	0.000290***	-0.000100	-0.000193	0.000086***
a_{11}	0.000844***	0.003404***	-0.001367***	0.002019	0.001902***
R^2	0.981758	0.946179	0.964900	0.815466	0.996900
SE	0.204275	0.231108	0.243511	0.641046	0.095435

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตาราง 4.8 มาพลอตกราฟ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.11-4.12 ค่าความเป็นสีแดง อยู่ในช่วง 6.26-12.26 จากกราฟจะเห็นว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรู จาก 450 rpm เป็น 550 rpm มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มลดลง ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนถั่ว นั้น มีผลให้ค่าความเป็นสีแดงมากขึ้น และมากที่สุดที่อัตราส่วนถั่ว 70% แต่การเพิ่มอัตราส่วนถั่วดำ นั้น ทำให้ค่าความเป็นสีแดงจะลดลง จนถึงที่อัตราส่วนถั่วดำ 50% ซึ่งให้ค่าความเป็นสีแดงต่ำสุด จากนั้นค่าความเป็นสีแดงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถั่ว



ภาพที่ 19 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู ที่มีผลต่อค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 20 แสดง Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู ที่มีผลต่อค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์

4.2.7 ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b^*)

ค่าความเป็นสีเหลืองของเอ็กซ์ทราคตที่วัตถุดิบที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมของถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว, ถั่วแดง, ถั่วดำ, ถั่วขาว และถั่วเหลือง) กับลูกเดี๋ย ที่สภาวะต่างๆ เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์

ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู(X_2) โดยกำหนดให้ความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้นคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ได้รับความสัมพันธ์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 11

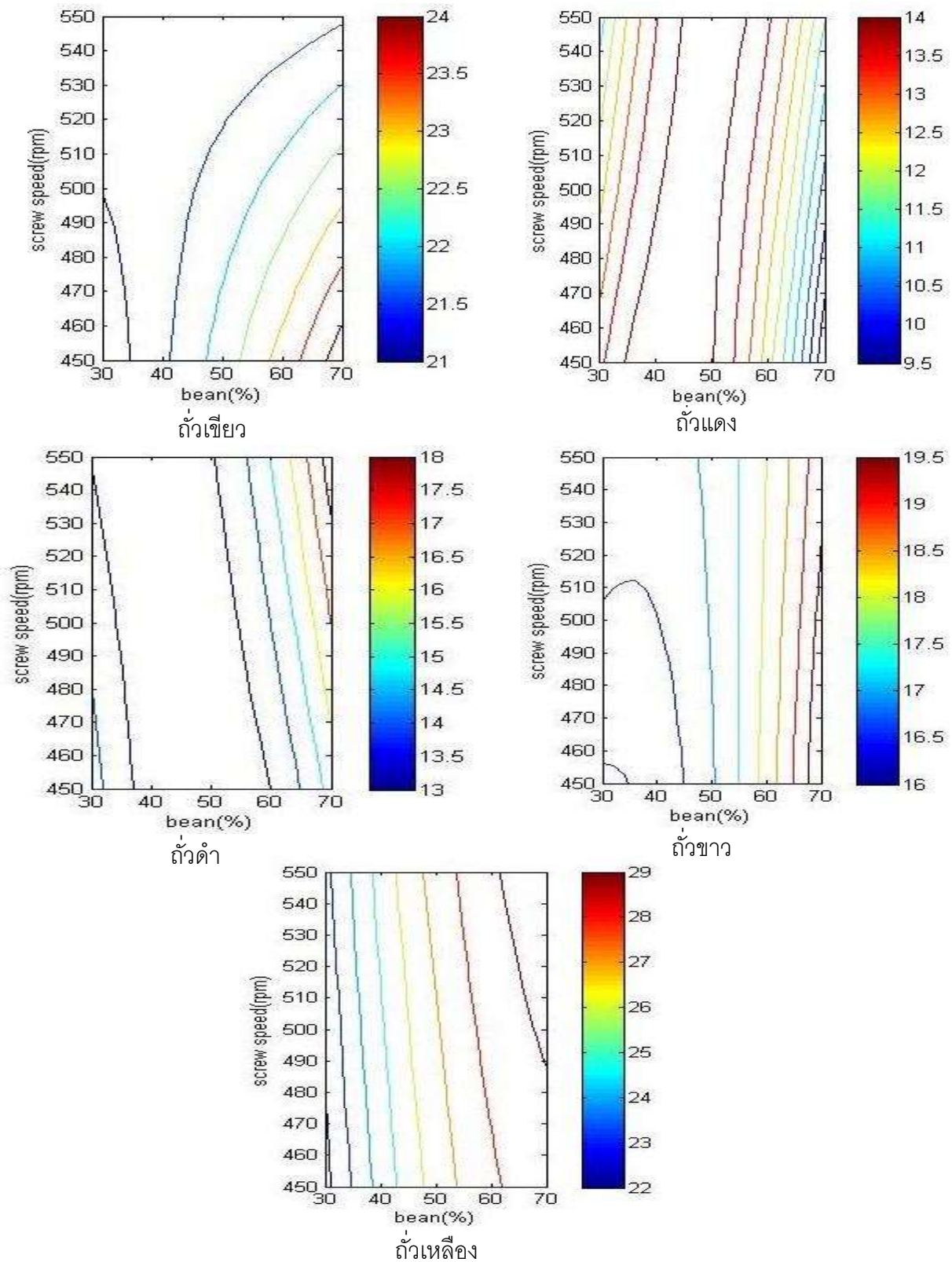
ตาราง 11 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ

ถดถอย

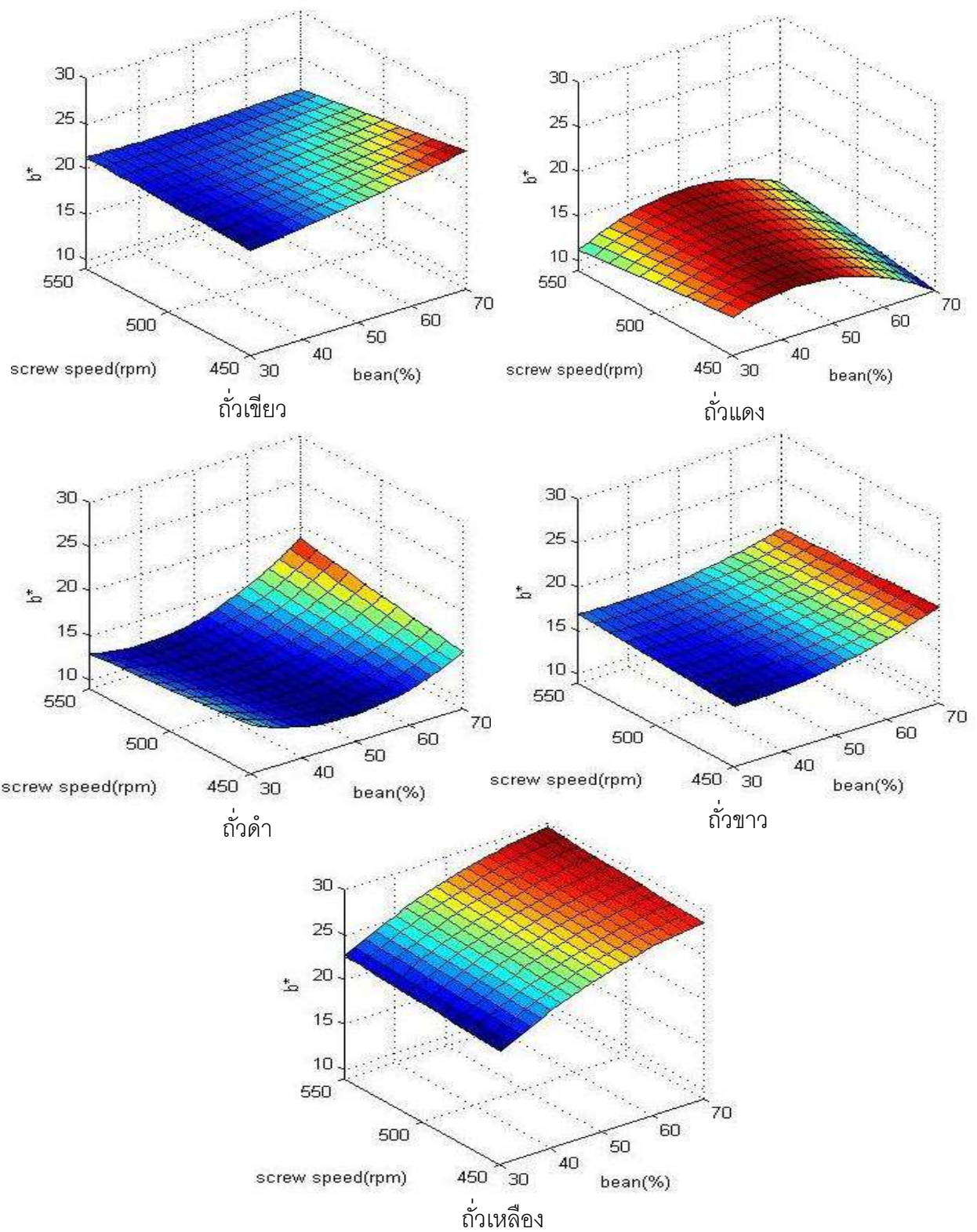
สัมประสิทธิ์ ในสมการ	ค่าความเป็นสีเหลือง				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max	24.29	18.99	14.93	20.68	30.26
Min	20.16	12.09	9.12	15.63	21.14
a_0	4.421875	51.990208***	26.608125***	8.203542	5.434861
a_1	0.424750***	-1.232917***	0.086667	0.031167	0.481417***
a_2	0.032942***	-0.051142***	-0.055508***	0.022275	0.010111
a_{12}	-0.000878***	0.001188***	0.001151***	-0.000408	0.000003
a_{11}	0.000606	0.007206***	-0.007131***	0.002531*	-0.003096***
R^2	0.871692	0.988751	0.967377	0.726729	0.958345
SE	0.535108	0.272833	0.398223	1.040003	0.720769

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตาราง 4.9 มาพลอตกราฟ ซึ่งแสดงได้ดังรูป 4.13-4.14 ค่าความสีเหลืองของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง 9.12 - 24.29 จากกราฟจะพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วยรอบ มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองลดลง ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนถั่ว นั้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น และจะมากที่สุดที่อัตราส่วน 70% เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์โบไฮเดรตกับโปรตีน เมื่อโดนความร้อน จะทำให้เอ็กซ์ทรูเดตเกิดสีน้ำตาล ทำให้เอ็กซ์ทรูเดตมีสีคล้ำขึ้น ถั่วเหลืองนั้นให้ค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุดเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่น และถั่วแดงให้ค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการเพิ่มอัตราส่วนถั่วแดงนั้น พบว่าให้ค่าความเป็นสีเหลืองลดลง



ภาพที่ 21 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู ที่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 22 แสดง Surface plot ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

4.2.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index , WAI)

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทราคตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมจากถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว, ถั่วแดง, ถั่วดำ, ถั่วขาว และถั่วเหลือง) กับลูกเดี๋ย ที่สภาวะต่างๆ เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู(X_2) ที่สภาวะความชื้นคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ได้ความสัมพันธ์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ ที่ได้

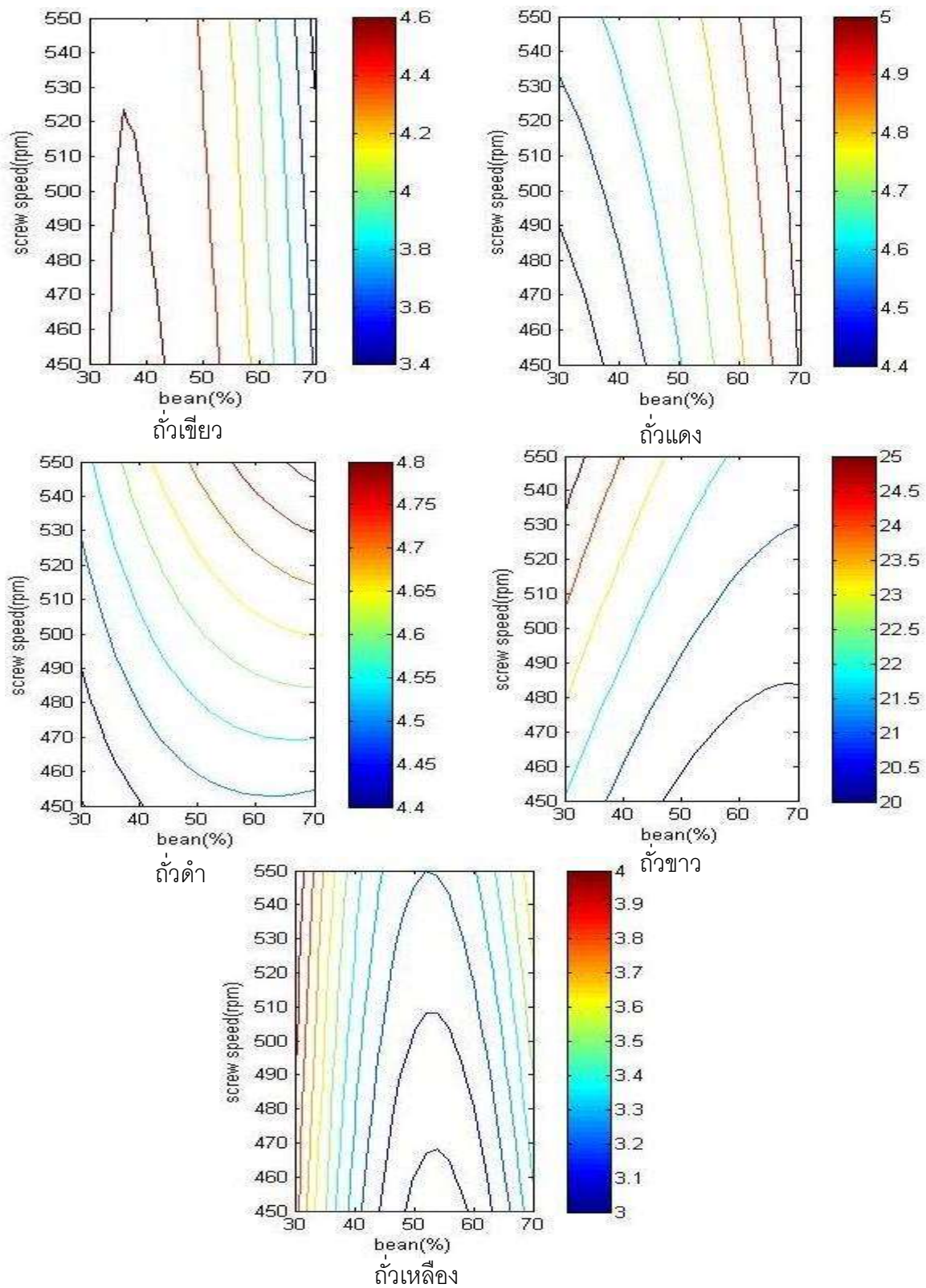
ส.ป.ส. สมการ	ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ (g/g)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max(g/g)	4.7858	4.9845	5.1127	5.0582	4.0491
Min(g/g)	3.3970	4.3102	4.1947	4.5159	2.9579
a0	2.277664	4.232789*	2.539898**	5.300637***	7.296906***
a1	0.106207	-0.011349	0.019262	-0.043074**	-0.186594***
a2	0.001784	-0.000221	0.003495	0.001774	0.000487
a12	-0.000057	0.000051	-0.000039	-0.000019	0.000037
a11	-0.001050**	-0.000094	0.000158	0.000423***	0.001583***
R ²	0.865958	0.510180	0.917793	0.913016	0.972227
SE	0.252873	0.187282	0.104360	0.076125	0.079284

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

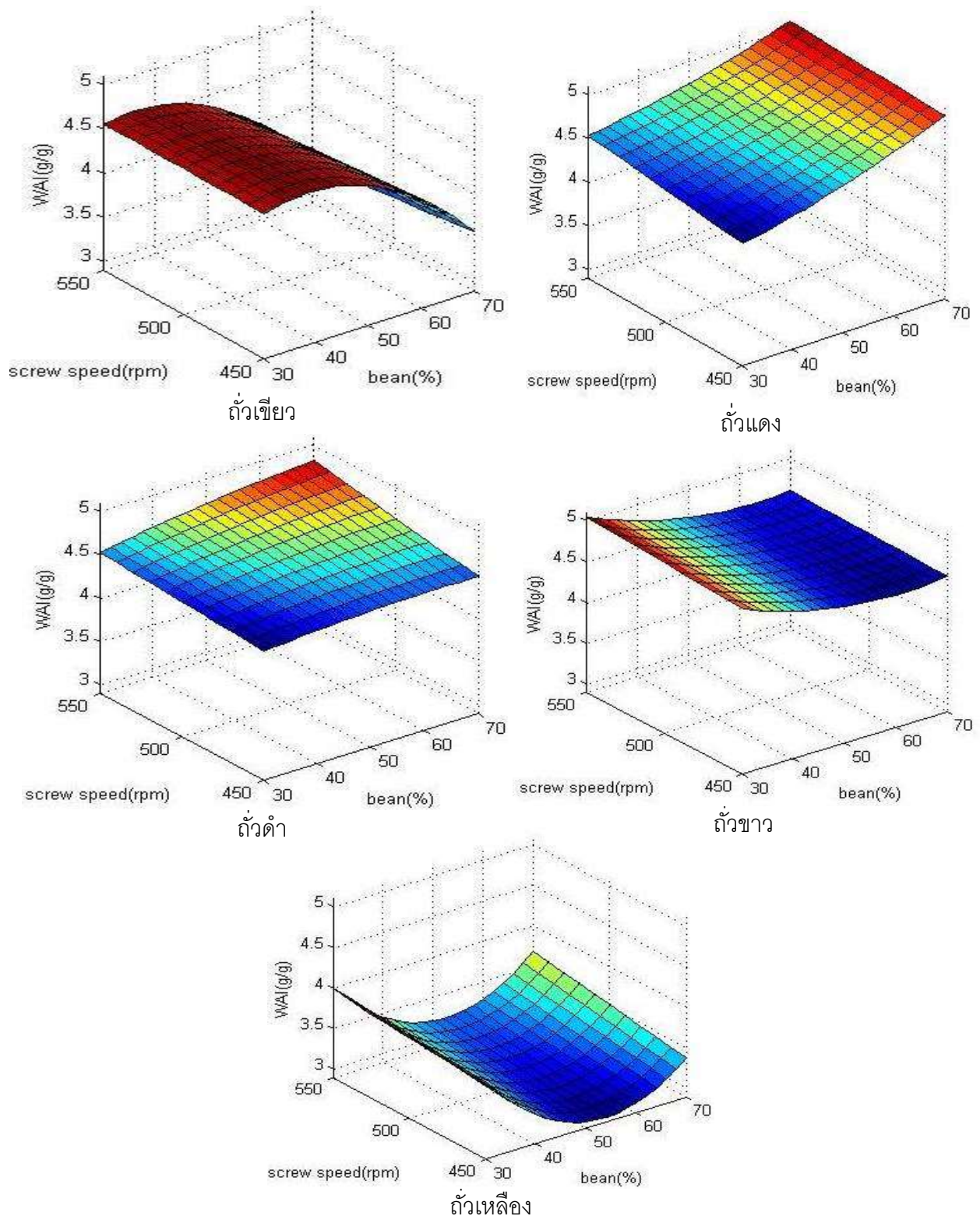
เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตาราง 4.10 มาพลอตกราฟ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.15-4.16 ค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง 2.96 - 5.12 g/g ซึ่งค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วเหลืองมีค่าต่ำสุด ขณะที่ค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์จากถั่วแดงมีค่าสูงสุด

วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนถั่วเขียวประมาณ 35% จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมากที่สุด และลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนถั่วเขียวมากขึ้น เนื่องจากที่อัตราส่วนถั่วเขียวต่ำจะมีปริมาณแป้งสูง จึงสามารถดูดซับความชื้นไว้เพื่อเกิดเจลลิตินเซชัน ส่วนการเพิ่มความเร็วรอบของสกรู จากช่วง 450 – 550 rpm นั้นไม่ค่อยมีผลต่อค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์

สำหรับวัตถุดิบจากถั่วแดง และถั่วดำนั้น พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรู จาก 450 rpm เป็น 550 rpm มีผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แสดงถึงปริมาณน้ำที่เม็ดแป้งดูดซับไว้เพื่อการเกิดเจลลิตินเซชัน



ภาพที่ 23 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 24 แสดง Surface plot ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่อการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์

ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนถั่วแดงนั้น ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกับถั่วดำ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถั่วดำ เม็ดแป้งจะมีการดูดซับน้ำและกลายเป็นเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้าง

ของโมเลกุลเปิดออกและกลายเป็นมวลที่มีความหนืดสูง และมีความสามารถในการดูดน้ำได้สูงด้วย ที่อัตราส่วนถั่วดำ 70% และ ความเร็วรอบสกรู 550 rpm จะให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุด

จากกราฟของถั่วขาวนั้น พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรู มีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบทำให้มีแรงเฉือนมาก โมเลกุลของวัตถุดิบ จึงสามารถแตกตัวได้ดีส่งผลให้สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น แต่การเพิ่มอัตราส่วนถั่วขาวทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบ มีค่าลดลงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง จนถึงที่อัตราส่วนประมาณ 42% หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

การเพิ่มอัตราส่วนถั่วเหลืองมีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง จนถึงที่อัตราส่วน 55% ซึ่งให้ค่าการดูดซับน้ำต่ำสุด และถ้าเพิ่มอัตราส่วนถั่วเหลืองอีกจะทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณถั่วในช่วงแรก ทำให้ไขมันมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้การดูดซับน้ำทำได้น้อยลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณถั่วขึ้นไปอีกจะทำให้ความชื้นเริ่มต้นมีค่าน้อยลงมากจึงทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้นและใยอาหารภายในถั่วเหลืองที่มีคุณสมบัติการละลายในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซับความชื้นสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มความเร็วรอบของสกรู จากช่วง 450 – 550 rpm นั้นไม่ค่อยมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำของถั่วเหลือง

4.2.9 ค่าความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index , WSI)

ค่าความสามารถในการละลายน้ำของเอ็กซ์ทราคต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมจากถั่ว 5 ลิ (ถั่วเขียว , ถั่วแดง , ถั่วดำ , ถั่วขาว และถั่วเหลือง) กับลูกเดือย ที่สภาวะต่างๆ เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู (X_2) โดยกำหนดให้วัตถุดิบเริ่มต้นมีความชื้นคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบ่มที่ 115 °C ได้ความสัมพันธ์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังตาราง 13

ตาราง 13 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าความสามารถในการละลายน้ำ ที่ได้จากการถดถอย

ส.ป.ส. สมการ	ค่าความสามารถในการละลายน้ำ (%)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max(%)	46.5895	28.6953	25.9029	25.9158	25.6853
Min(%)	17.8862	15.6104	14.9266	18.4153	15.6277
a_0	-125.3434***	-68.426807**	2.965003	6.922005	60.861182***
a_1	2.318497***	1.120180	0.098334	-0.111167	-1.062551**
a_2	0.299988***	0.211420***	0.037140	0.047774**	-0.030792
a_{12}	-0.004918***	-0.003406**	-0.000171	-0.000372	0.000146
a_{11}	0.005803*	0.004972	-0.001106	0.002118	0.008850**
R^2	0.977922	0.765620	0.506004	0.915861	0.809829
SE	1.717165	2.786451	2.790480	0.824562	1.689298

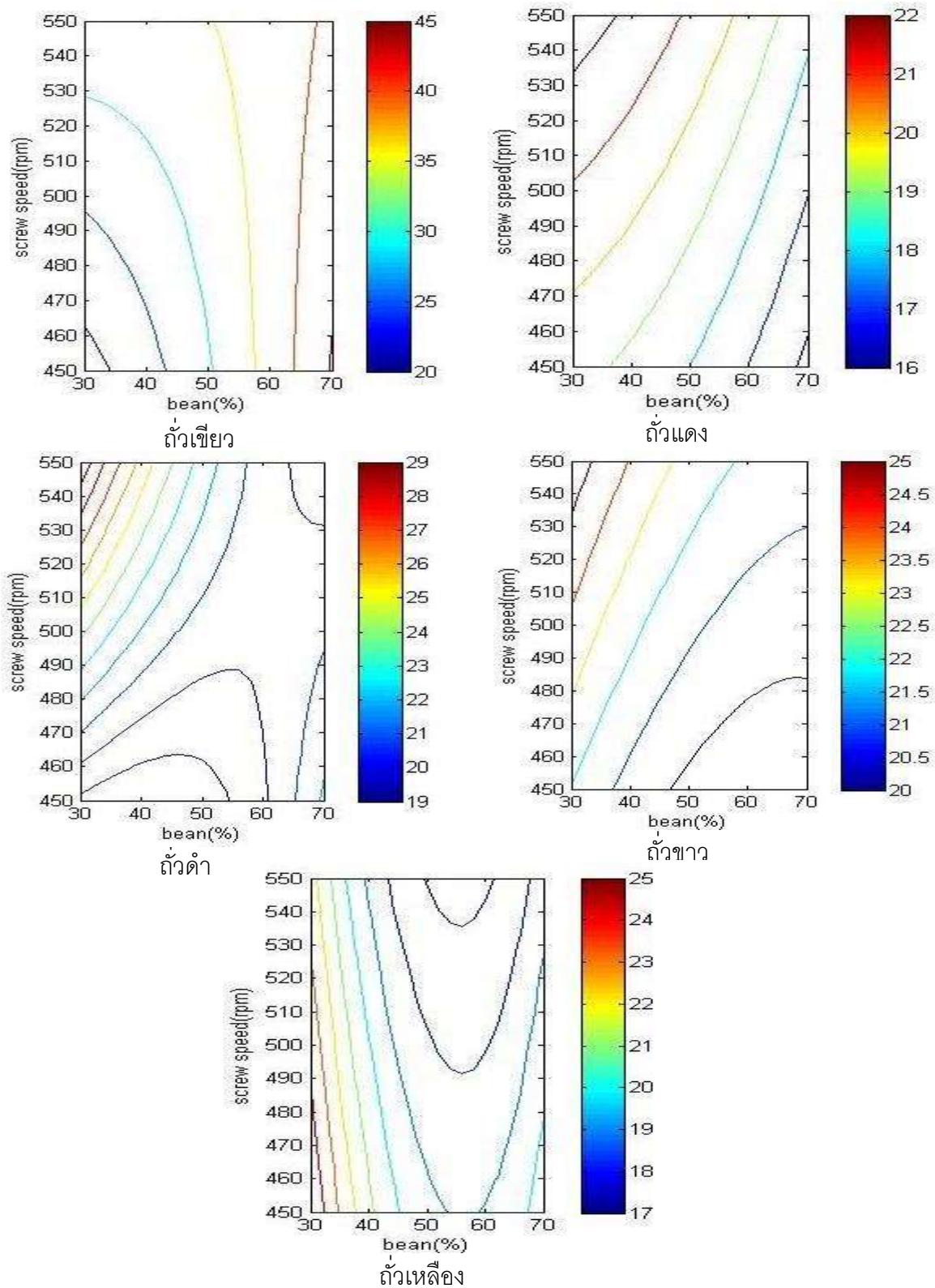
หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

เมื่อนำผลความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลในตาราง 4.11 มาพลอตกราฟ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.17-4.18 ค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง 14.93 - 46.59 % ซึ่งค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วแดงมีค่าต่ำสุดที่ ขณะที่ค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียวมีค่าสูงสุด

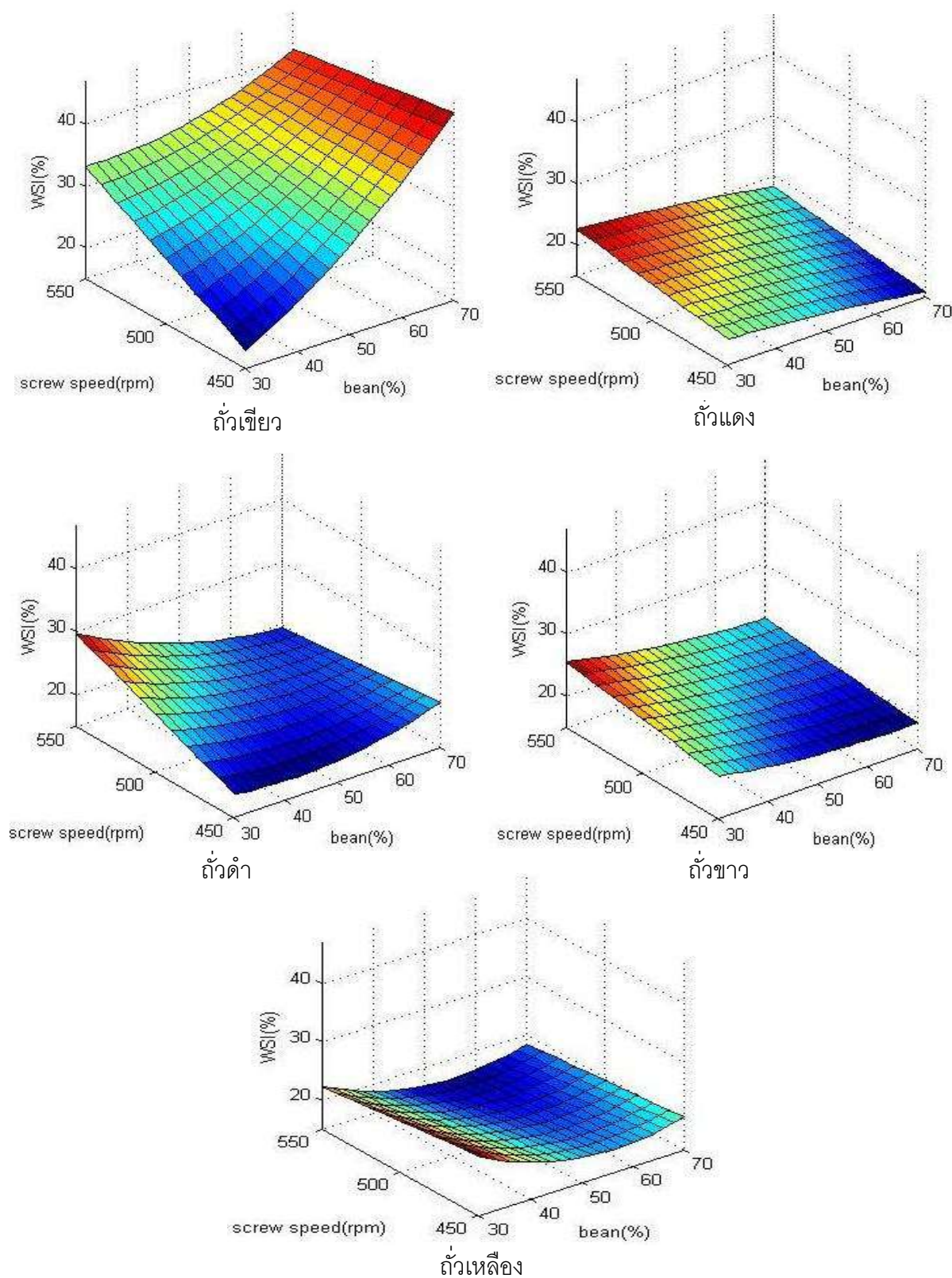
สำหรับวัตถุดิบผสมของถั่วเขียว พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรู มีผลทำให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำลดลง สาเหตุอาจมาจากการเพิ่มความเร็วรอบสกรูนั้น เป็นการสร้างแรงเฉือนเข้าไป ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในบาร์เรล โปรตีนภายในถั่วเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง แต่การเพิ่มอัตราส่วนถั่วเขียว มีผลทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น

สำหรับวัตถุดิบจากถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว พบว่า การเพิ่มความเร็วรอบสกรู มีผลให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบสกรูเป็นการเพิ่มแรงเฉือน ทำให้โมเลกุลถูกทำลาย ส่วนประกอบสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถั่วมากขึ้น ทำให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนของถั่ว ทำให้มีปริมาณใยอาหารสูง ผลิตภัณฑ์สุกยากขึ้น โมเลกุลถูกทำลายไม่เพียงพอ จึงมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยลง

สำหรับวัตถุดิบจากถั่วเหลือง พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบสกรู ทำให้ค่าการละลายน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบของสกรู เป็นการเพิ่มแรงเฉือน ทำให้โมเลกุลแป้งถูกทำลาย



ภาพที่ 25 แสดง Contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรู ที่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 26 แสดง Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถั่วและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์

มีผลทำให้เอกซ์ทรูเดตละลายน้ำได้ต่ำลง แต่การเพิ่มอัตราส่วนของถั่วเหลือง มีผลให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง

4.2.10 ลักษณะทางเนื้อสัมผัส

ค่าความแข็ง(Hardness) และค่าความกรอบ (Cripness) ของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมจากถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว , ถั่วแดง , ถั่วดำ , ถั่วขาว และถั่วเหลือง) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1) กับความเร็วรอบสกรู(X_2) โดยกำหนดให้ความชื้นวัตถุดิบมีค่าคงที่ที่ 14% และอุณหภูมิบาร์เรลที่ 115 °C ได้ความสัมพันธ์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 12-14

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าความแข็งที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

ส.ป.ส. สมการ	ค่าความแข็ง (kg/mm ²)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max(kg/mm ²)	0.0544	0.0980	0.1501	0.1358	0.2710
Min(kg/mm ²)	0.0229	0.0213	0.0323	0.0005	0.0303
a_0	0.008326	-0.112360	-0.132078	-0.162221	0.463796
a_1	0.001569	0.006323	-0.001113	0.009994	-0.000171
a_2	0.000060	0.000165	0.000753	0.000123	-0.001568
a_{12}	-0.000003	-0.000005	-0.000015	-0.000007	0.000033
a_{11}	0.000001	-0.000035	0.000092	-0.000059	-0.000139
R^2	0.497644	0.426654	0.758852	0.499103	0.547130
SE	0.006228	0.011782	0.013421	0.019824	0.049869

ตาราง 15 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3-8 เพื่ออธิบายค่าความกรอบที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

ส.ป.ส. สมการ	ค่าความกรอบ (no. peak/mm ²)				
	JG	JB	JR	JW	JY
Max(no.peak/mm ²)	0.1543	0.1766	1.4210	0.2117	0.2955
Min(no.peak/mm ²)	0.0425	0.0437	0.0551	0.0252	0.0288
a ₀	-0.066855	-0.311688	-3.557414	-0.097282	0.294340
a ₁	0.002549	0.010684	-0.006909	0.004841	-0.001607
a ₂	0.000340	0.000608	0.009516	0.000325	-0.000907
a ₁₂	-0.000007	-0.000011	-0.000045	-0.000008	0.000022
a ₁₁	0.000017	-0.000053	0.000269	-0.000001	-0.000076
R ²	0.231501	0.202874	0.797399	0.147393	0.360336
SE	0.020342	0.028472	0.195511	0.033591	0.051981

หมายเหตุ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01

จากข้อมูลในตาราง 4.12 -4.14 จากการวิเคราะห์ค่าความแข็ง(Hardness), และค่าความกรอบ (Cripness) ในรูปแบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง พบว่าค่า R² มีค่าน้อยมาก และค่ามีความแปรปรวนมาก ทำให้ผลของปัจจัยที่ศึกษาไม่แสดงผลกระทบบต่อค่าความแข็ง และค่าความกรอบ อย่างมีนัยสำคัญสาเหตุอาจมาจากตัวผลิตภัณฑ์มีความแปรปรวน เนื้อไม่มีความสม่ำเสมอ

แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเร็วยรอบจะทำให้เอ็กซ์ทรูเดตพองขึ้น ส่งผลให้ความกรอบมากขึ้น และความแข็งลดลง เนื่องจาก เกิดรูพรุนภายในเอ็กซ์ทรูเดตมากขึ้น การเพิ่มปริมาณถั่ว จะทำให้เอ็กซ์ทรูเดตมีความแข็งเพิ่มขึ้น ความกรอบน้อยลง ซึ่ง ถั่วเหลืองจะเป็นถั่วที่มีความแข็งมากที่สุด ถั่วเขียวให้ค่าความแข็งน้อยที่สุดและมีความกรอบมากที่สุด

4.3. ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากถั่วที่ปราศจากการปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

ได้ทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับลูกเดี๋ยในข้อ 4.2 เพื่อนำมาเติมส่วนผสมของน้ำตาล และสารคาร์บอนेट เพื่อปรับปรุงรสชาติและเนื้อสัมผัส และได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยปราศจากการปรุงแต่ง โดยกำหนดสภาวะการผลิตที่อุณหภูมิบาร์เรล 115 °C ความเร็วยรอบ 550 rpm และความชื้นเริ่มต้น 14%

วัตถุดิบผสมของถั่วกับลูกเดี๋ยที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ มีอัตราส่วนผสม เป็นดังนี้

สูตรที่ 1 (สูตรไม่ปรุงแต่ง) มี 5 ตัวอย่าง คือ

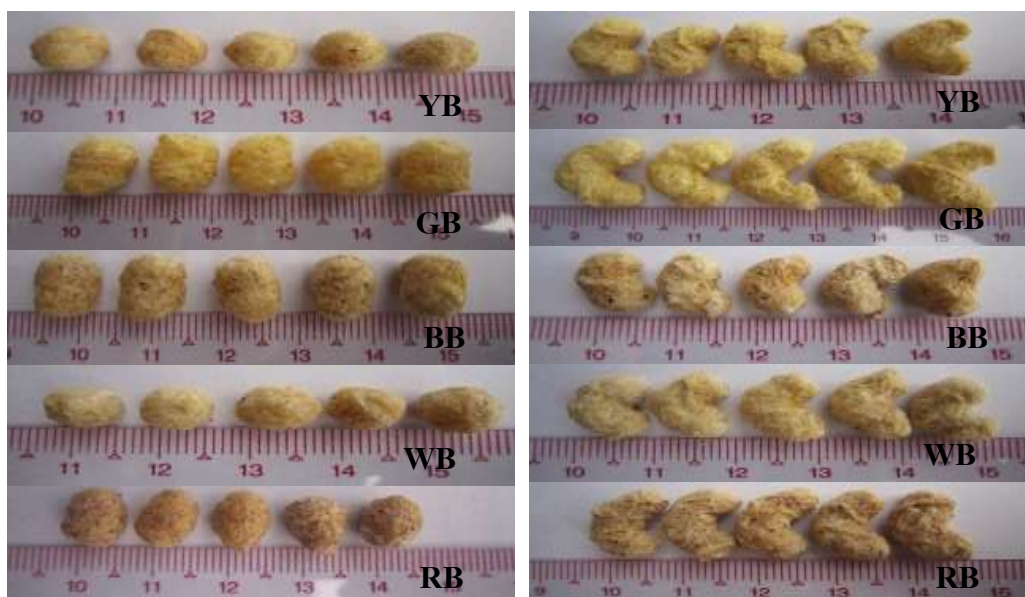
- | | | |
|--------------------|----------------|---------|
| 1) ถั่วเขียว (GB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 |
| 2) ถั่วขาว (WB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 |
| 3) ถั่วแดง (RB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 |
| 4) ถั่วดำ (BB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 |
| 5) ถั่วเหลือง (YB) | : ลูกเดือย(JT) | 30 : 70 |

สูตรที่ 2 (สูตรปรุงแต่ง)

ใช้อัตราส่วนของถั่ว: ลูกเดือย เช่นเดียวกับสูตรที่ 1 แต่มีการเพิ่มส่วนผสมน้ำตาลอีก 5% และสารคาร์บอนเนต 1% จากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ดังแสดง

- | | | |
|--------------------|----------------|---|
| 1) ถั่วเขียว (GB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 + น้ำตาล (5%) + คาร์บอนเนต (1%) |
| 2) ถั่วขาว (WB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 + น้ำตาล (5%) + คาร์บอนเนต (1%) |
| 3) ถั่วแดง (RB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 + น้ำตาล (5%) + คาร์บอนเนต (1%) |
| 4) ถั่วดำ (BB) | : ลูกเดือย(JT) | 50 : 50 + น้ำตาล (5%) + คาร์บอนเนต (1%) |
| 5) ถั่วเหลือง (YB) | : ลูกเดือย(JT) | 30 : 70 + น้ำตาล (5%) + คาร์บอนเนต (1%) |

จากการทดลองพบว่า ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ตามสูตรที่ 1 มีลักษณะพองกลม ดังแสดงในรูปที่ 5 (a) และสูตรที่ 2 ผลิตภัณฑ์มีลักษณะการพองตัวมากกว่า และมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและแน่นมากกว่าสูตรที่ไม่ปรุงแต่งรสชาติ ดังแสดงในรูปที่ 5 (b) ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามส่วนผสมในแต่ละสูตร



(ก) สูตรไม่ปรุงแต่ง

(ข) สูตรปรุงแต่ง

ภาพที่ 27 เปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราเคทที่ได้จากสูตรไม่ปรุงแต่ง
กับสูตรปรุงแต่งจากวัตถุดิบผสมของถั่วกับลูกเดือย

ตารางที่ 16 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากถั่วแต่ละชนิดกับลูกเดี๋ย 100 กรัม

Recipe	YB: JT	GB: JT	BB: JT	WB: JT	RB: JT
Energy (Kcal)	<u>420.36</u> (420.12)	<u>396.53</u> (391.62)	<u>393.45</u> (392.16)	<u>394.97</u> (397.83)	<u>395.35</u> (389.65)
Water (g)	<u>3.21</u> (2.13)	<u>1.50</u> (1.95)	<u>2.46</u> (2.01)	<u>3.38</u> (1.83)	<u>1.97</u> (2.61)
Protein (g)	<u>21.30</u> (20.26)	<u>20.43</u> (19.13)	<u>20.20</u> (19.10)	<u>19.41</u> (18.55)	<u>17.52</u> (16.37)
Fat (g)	<u>8.86</u> (8.43)	<u>2.76</u> (2.58)	<u>2.86</u> (2.71)	<u>3.51</u> (3.36)	<u>3.25</u> (3.04)
Carbohydrate (g)	<u>63.86</u> (65.81)	<u>72.49</u> (72.96)	<u>71.72</u> (72.85)	<u>71.42</u> (73.35)	<u>74.00</u> (74.20)
fiber (g)	<u>4.09</u> (3.89)	<u>4.25</u> (3.98)	<u>4.32</u> (4.09)	<u>3.51</u> (3.35)	<u>3.97</u> (3.71)
Ash (g)	<u>2.77</u> (2.63)	<u>2.82</u> (2.64)	<u>2.75</u> (2.60)	<u>2.27</u> (2.17)	<u>3.25</u> (3.04)

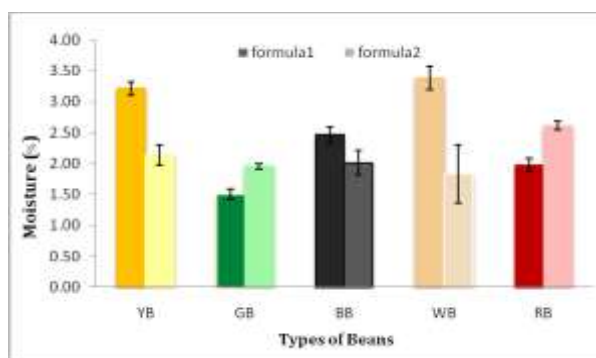
หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดง สูตรที่ 1, (ในวงเล็บ คือ สูตรที่ 2)

สัญลักษณ์ YB = ถั่วเหลือง, GB = ถั่วเขียว, BB = ถั่วดำ, WB = ถั่วขาว, RB = ถั่วแดง, JT = ลูกเดี๋ย

จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ คือ มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 3.3-8.3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ปริมาณที่แนะนำในการบริโภคควรมีโปรตีน 2.5-3.0 กรัมต่อพลังงาน 100 แคลอรี หรือคิดเป็น 10-12 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด (Autret, 1969) ส่วนปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่มีจำหน่ายทั่วไปมีค่าสูงถึง 8.00-34.00% (Boonyasirikool et.al., 1986) ขณะที่ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากถั่ว 5 สีและลูกเดี๋ยนั้น มีปริมาณโปรตีนคิดเป็น 16.81-20.27% ของพลังงานทั้งหมด และปริมาณไขมันต่ำที่ 2.58% -8.86% จึงจัดว่าผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากถั่ว 5 สีและลูกเดี๋ยเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่จำหน่ายทั่วไป

ค่าความชื้น (Moisture)

ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้สำหรับสูตรที่ 1 อยู่ในช่วง 1.502-3.380% และสำหรับสูตรที่ 2 ในช่วง 1.835-2.6124% โดยถั่วเขียวและถั่วดำมีค่าความชื้นต่ำเนื่องจากมีปริมาณไฟเบอร์มากเพราะไฟเบอร์ส่งผลให้เนื้อสัมผัสไม่เรียบและเป็นรูขนาดใหญ่ที่บริเวณผิวของเอ็กซ์ทราเกตทำให้น้ำระเหยออกไปได้ง่ายจึงมีผลทำให้ความชื้นลดลง (Yanniotis et al., 2007)

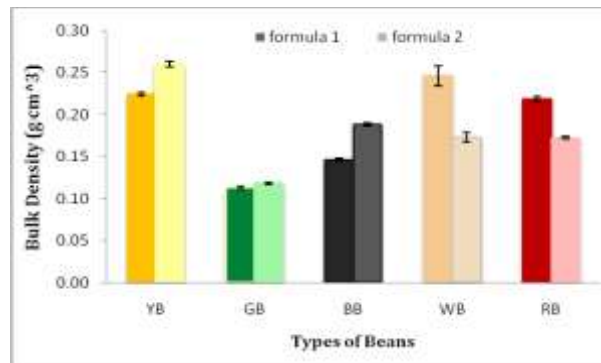


ภาพที่ 28 เปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์สูตรไม่ปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

****สูตรที่ 1 - ไม่ปรุงแต่ง แสดงสีเขียว; สูตรที่ 2 - ปรุงแต่ง แสดงสีอ่อน**

ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

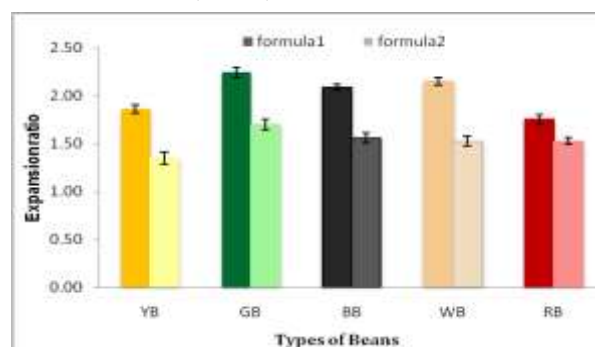
ค่าความหนาแน่นรวมที่ได้อยู่ในช่วง 0.113-0.246 g/cm³ สำหรับสูตรที่ 1 และช่วง 0.118-0.260 g/cm³ สำหรับสูตรที่ 2 โดยถั่วเขียวมีค่าความหนาแน่นรวมน้อยที่สุดและถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นรวมมากที่สุด ค่าความหนาแน่นรวมของสูตรที่ 1 จะต่ำกว่าสูตรที่ 2 เนื่องจากสูตรที่ 2 มีการเติมน้ำตาล ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำตาลมีผลทำให้ขนาดของเซลล์ลดลง (Barret et al., 1995, Mezreb et al., 2006) ส่วนถั่วขาวและถั่วแดงนั้น ค่าความหนาแน่นรวมของสูตรที่ 1 มีค่าสูงกว่าสูตรที่ 2 เนื่องจากรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 27 และภาพที่ 29



ภาพที่ 29 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์สูตรไม่ปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

ค่าอัตราการขยายตัว (Expansion ratio)

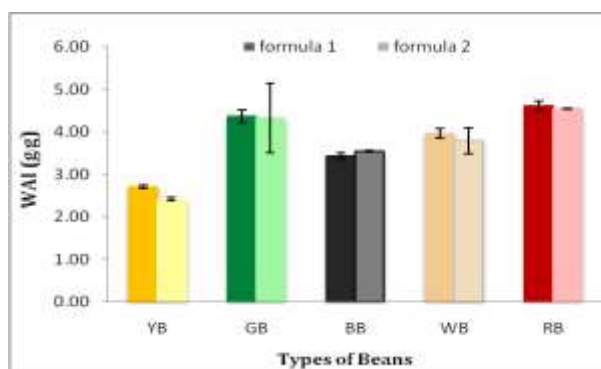
อัตราการขยายตัวที่ได้อยู่ในช่วง 1.75-2.24 สำหรับสูตรที่ 1 และช่วง 1.35-1.70 สำหรับสูตรที่ 2 โดยสูตรที่ 2 มีอัตราการขยายตัวต่ำกว่าสูตรที่ 1 เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการขยายตัวโดยรวมลดลง (Mezreb, et al., 2006) ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 เปรียบเทียบค่าอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์สูตรไม่ปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

ค่าอัตราการดูดซับน้ำ (WAI)

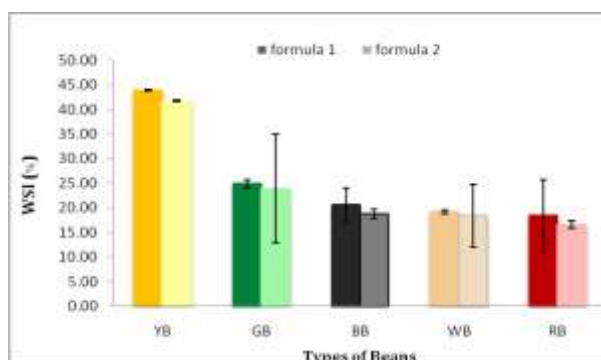
อัตราการดูดซับน้ำที่ได้อยู่ในช่วง 2.71-4.35 g/g สำหรับสูตรที่ 1 และช่วง 2.42-4.55 g/g สำหรับสูตรที่ 2 ค่าอัตราการดูดซับน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากการเติมน้ำตาลไม่ส่งผลหรือส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าอัตราการดูดซับน้ำเนื่องจากค่า WAI เป็นอิสระจากปริมาณน้ำตาล (Juan et al., 2010) โดยถั่วเหลืองมีค่าอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดเนื่องจากมีไขมันมากทำให้ดูดซับน้ำได้น้อย ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์สูตรไม่ปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

ค่าความสามารถในการละลายน้ำ (WSI)

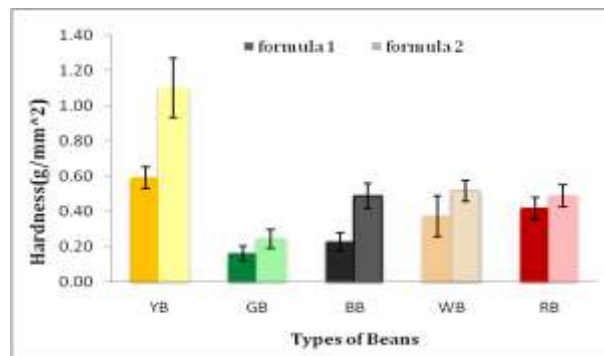
ความสามารถในการละลายน้ำที่ได้อยู่ในช่วง 18.49-43.89% สำหรับสูตรที่ 1 และช่วง 18.44-41.75% สำหรับสูตรที่ 2 ค่าการละลายน้ำของสูตรที่ 2 จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 สอดคล้องกับ (Mezreb, et al., 2006) ที่ว่า เอ็กส์ทราคตจากข้าวสาลีจะมีค่า WSI ลดลงที่ระดับน้ำตาล 5% ส่วนถั่วเหลืองมีค่าการละลายน้ำมากที่สุดเนื่องจาก มีปริมาณ โปรตีนมาก ค่า WSI เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4-24



ภาพที่ 32 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์สูตรไม่ปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

ค่าความแข็ง (Hardness)

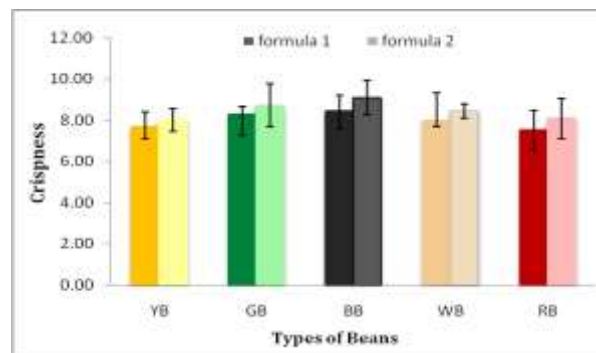
ค่าความแข็งที่ได้อยู่ในช่วง 0.16-0.59 g/mm² สำหรับสูตรที่ 1 และช่วง 0.24-1.10 g/mm² สำหรับสูตรที่ 2 ค่าความแข็งของสูตรที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นจากสูตรที่ 1 เนื่องจากน้ำตาลไปเพิ่มความหนาแน่นทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งขึ้น ส่วนถั่วเหลืองที่มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากมีปริมาณไฟเบอร์มากกว่าถั่วชนิดอื่นยังส่งผลให้มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น (Jin, et al., 1994)



ภาพที่ 33 เปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์สูตรไม่ปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

ค่าความกรอบ (Crispness)

ความกรอบที่ได้อยู่ในช่วง 7.51-8.44 สำหรับสูตรที่1 และช่วง 8.01-9.09 สำหรับสูตรที่2 โดยจากภาพที่ 4-16 สูตรที่2 มีค่าความกรอบที่มากกว่าสูตรที่1 เพียงเล็กน้อยซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก (Mezreb, et al., 2006) กล่าวว่ ค่าความกรอบไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญที่ปริมาณน้ำตาล5-10 % ในการทดลองนี้ความกรอบแต่ละถ้วมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 34 เปรียบเทียบค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์สูตรไม่ปรุงแต่งกับสูตรปรุงแต่ง

ค่าสี

จากการวัดค่าสีพบว่า ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราคต์ที่เตรียมมาจากถั่วเขียวมีค่าความสว่างมากที่สุดอยู่ที่ค่า 69.51 ถั่วเหลืองมีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุดอยู่ที่ค่า 12.52 เนื่องจากวัตถุดิบเริ่มต้นมีสีเหลืองออกส้มทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีแดงมากและถั่วเขียวมีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุดเนื่องจากใช้วัตถุดิบที่เป็นถั่วเขียวผ่าซีกซึ่งเป็นสีเหลืองจึงแสดงค่าความเป็นสีเหลืองออกมาได้มากที่สุดและปริมาณ

โปรตีนมีผลต่อค่าความเป็นสีโดยเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นค่า L^* จะลดลงส่วนค่า a^* b^* เพิ่มขึ้น (Chaiyakul, et al., 2008) ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้า

ตัวอย่าง		L^*	a^*	b^*
ถั่วเหลือง	สูตร 1	64.58	12.52	23.57
	สูตร 2	66.09	11.45	24.19
ถั่วเขียว	สูตร 1	67.23	11.91	29.79
	สูตร 2	69.51	10.74	27.35
ถั่วดำ	สูตร 1	62.42	11.48	19.02
	สูตร 2	63.97	10.31	17.29
ถั่วขาว	สูตร 1	68.13	10.86	18.77
	สูตร 2	69.06	10.68	17.93
ถั่วแดง	สูตร 1	57.9	12.41	19.88
	สูตร 2	63.71	12.22	16.69

*หมายเหตุ L^* = ค่าความสว่าง a^* = ค่าความเป็นสีแดง

b^* = ค่าความเป็นสีเหลือง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษากระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้วัตถุดิบจากลูกเดือยผสมกับถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วเหลือง) โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนน้ำหนักผสมของลูกเดือยกับถั่ว เท่ากับ 30:70 , 50:50 , 70:30 และ ความเร็วรอบของสกรู 450-550 rpm ซึ่งความเร็วรอบของสกรู และอัตราส่วนของถั่ว เป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อคุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- 5.1. ในสภาวะการผลิตที่ความเร็วรอบสกรูสูงนั้น มีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้มี ความหนาแน่นสูงและความหนาแน่นจริงต่ำ , อัตราส่วนการขยายตัวสูงขึ้น ,ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองมาก ,ค่าความชื้นต่ำ(ยกเว้นในถั่วดำ) ,ค่าการละลายน้ำลดลงในเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากถั่วเขียวและเหลือง แต่สูงขึ้นในเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิต จากถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว ส่วนค่าความสามารถในการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นในเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจาก ถั่วขาว ,ถั่วแดง และถั่วดำ แต่ไม่ค่อยมีผลกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำในเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากถั่วเขียว และถั่วเหลือง ในขณะที่สภาวะความเร็วรอบต่ำนั้นให้ผลในทางตรงข้าม
- 5.2. การใช้อัตราส่วนผสมของถั่วทำให้เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้มีค่าความหนาแน่นรวม อัตราส่วนการขยายตัว ค่าความสว่างมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความหนาแน่นจริง, ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่าความชื้นที่ได้มีค่าลดลง ส่วนค่าความสามารถในการละลายน้ำส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบผสมของถั่วเขียวลดลง
- 5.3. การใช้ถั่วเป็นวัตถุดิบในการผลิตภัณฑ์อาหารเข้า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั่วไป และผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบผสมของถั่วเขียว ให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเข้ามากที่สุด และได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส
- 5.4. สภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากถั่ว 5 สี คือ การใช้อัตราส่วนของถั่วแต่ละชนิดกับลูกเดือยในอัตรา 50:50 (โดยน้ำหนัก) และใช้ความเร็วรอบสกรู 550 rpm :7jสามารถใช้ผลิตกับถั่วทุกสูตร ส่วนวัตถุดิบถั่วเหลืองควรใช้ อัตราส่วนผสมของลูกเดือยกับถั่ว เท่ากับ 70:30 เนื่องจากถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้แน่นแข็ง จึงควรลดปริมาณถั่วเหลืองเหลือเพียง 30%

- 5.5. ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่ได้จากวัตถุดิบผสมจากถั่วแต่ละชนิดมีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไป สำหรับถั่วเขียวกับลูกเดี๋ยให้อัตราการขยายตัวสูงสุดที่ค่า 2.24 ความหนาแน่นของถั่วเหลืองกับลูกเดี๋ยมีค่ามากที่สุด ในขณะที่ความหนาแน่นของถั่วเขียวกับลูกเดี๋ยน้อยสุด ส่วนถั่วแดงกับลูกเดี๋ยให้อัตราการดูดซับน้ำสูงสุดที่ 4.55 g/g และถั่วเหลืองกับลูกเดี๋ยให้อัตราการละลายน้ำมากกว่าสูตรอื่น
- 5.6. การเพิ่มปริมาณน้ำตาลมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์คือ ผลิตภัณฑ์สูตรที่มีการผสมน้ำตาลจะมีสีสว่างกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมน้ำตาล และยังส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น ความแข็ง ความกรอบให้มีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าความชื้น อัตราการขยายตัวและความสามารถในการละลายน้ำมีค่าลดลง ส่วนค่าความสามารถในการดูดซับน้ำไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ปัญหาของเปลือกถั่ว เนื่องจากเป็นตัวทำให้เอ็กซ์ทราคตสุกยาก เนื้อเหนียว และไม่พอง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่น ดังนั้นควรมีการศึกษาเรื่องการแยกเปลือกถั่วก่อนนำมาผลิต แต่อย่างไรก็ตามจากรายงานได้พบว่าในเปลือกถั่วมีคุณค่าทางโภชนาการมาก อาจมีการลดขนาดของถั่วและเปลือกถั่วให้เล็กลงกว่านี้ เพื่อลดปัญหาดังกล่าว
- 2) การปรุงแต่งสีเพื่อให้ได้ลักษณะสีที่สวยงามของผลิตภัณฑ์ถั่ว 5 สี สามารถใช้สีธรรมชาติจากพืชสมุนไพร ซึ่งควรมีการศึกษาวิธีการผลิตสีผสมอาหารจากพืชผักหรือผลไม้มาใช้ประโยชน์
- 3) ผู้สูงอายุไม่นิยมบริโภคอาหารที่มีการเพิ่มส่วนประกอบของน้ำตาล ดังนั้นในการผลิตอาหารเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้สูงอายุจึงควรปราศจากการเติมหรือปรุงแต่งกลิ่นรส

5.3 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

- นำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยสู่ผู้สนใจและผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอาหาร - งานประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรและอาหาร ปี 2554,
- จัดทำเอกสารเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิจัยสู่สังคม แสดงในนิทรรศการวิชาการในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสู่ผู้ประกอบการ SME ในเชิงพาณิชย์
- แนะนำ/ถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีด้านการผลิตให้กับบริษัทที่สนใจร่วมโครงการอย่างน้อย 1 ราย เช่น บ.กรีนวันฟู๊ด อินดัสเตรียล จก. จ.ระยอง ซึ่งสนใจร่วมโครงการ

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2552. เด็อย.

แหล่งที่มา: <http://it.doa.go.th/vichakan/news.php?newsid=19> (10 กุมภาพันธ์ 2553)

กรมวิชาการเกษตร. 2552. สถานการณ์พืชน้ำมันและน้ำมันพืช. แหล่งที่มา:

<http://www.oae.go.th/download/document/soybean51.pdf>, (12 กุมภาพันธ์ 2553)

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2552. ถั่วเขียว. แหล่งที่มา: <http://www.doae.go.th/plant/mungbn.htm>, (12

กุมภาพันธ์ 2553)

จิราวัฒน์ จารุพันธ์. 2553. ไทยหนีไม่พ้นวิกฤตสังคมผู้สูงอายุ. แหล่งที่มา:

http://www.cps.chula.ac.th/html_th/pop_base/ageing/ageing_041.htm, (31 มีนาคม 2553)

บริษัท คริสตอลไดเอกนอสติก. 2552. การดูแลสุขภาพและโภชนาการผู้สูงอายุ. แหล่งที่มา:

<http://www.thailabonline.com/food-elder.htm>, (2 เมษายน 2553)

ปิยมาศ มหามัญญานนท์. 2546. คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้าที่ได้

จากการอัดฟองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เพ็ญภา ทรัพย์เจริญ, กัญญา ดีวิเศษ, พรทิพย์ เต็มวิเศษ, ภัทราพร ตั้งสุขฤทัย, นวลจันทร์ ใจอารีย์

และ กมลพรรณ โอวาทสุวรรณ. 2544. การศึกษาทางมานุษยวิทยาโภชนาการ: กรณีถั่ว.

สถาบันการแพทย์แผนไทย กระทรวงสาธารณสุข.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547. ถั่วแดงหลวง. แหล่งที่มา: [http://www.ku.ac.th/e-](http://www.ku.ac.th/e-magazine/may47/agri/bean.html)

[magazine/may47/agri/bean.html](http://www.ku.ac.th/e-magazine/may47/agri/bean.html), (15 กุมภาพันธ์ 2553)

รุจิรา สัมมะสุต. 2543. ความต้องการพลังงานและสารอาหารของผู้สูงอายุ. แหล่งที่มา:

http://www.elib-online.com/doctors2/senile_food01.html, (20 พฤษภาคม 2553)

วันชัย สมจิต. 2525. ถั่วเหลือง และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. สถาบันค้นคว้าและพัฒนา

ผลิตภัณฑ์อาหาร ม.เกษตรศาสตร์ บางเขน (วารสารอาหารหรือหนังสือ)

สุทธิวิวัฒน์ คำภา. 2547. เอกสารนาฬิกาชีวิต. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. ข้อมูลเศรษฐกิจเกษตร: ถั่วเหลือง.

แหล่งที่มา: <http://www.doae.go.th/plant/soybn.htm>, (30 พฤษภาคม 2553)

- A.O.A.C. 1994. Official Methods of Analysis. The Association of Official Analytical Chemistry, Washington DC, U.S.A.
- Altan, A., L. McCarthy Kathryn and M. Maskan. 2008. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *J. Food Eng.* 84: 231-242.
- Alvarez-Martinez, L., K.P. Kondury and J.M. Harper. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53: 609-615.
- Anderson, R.A. H.F. Conway, W.F. Pfeifer and A.J. Peplinski. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today.* 14 (1): 4-12.
- Autret, M. 1969. World Protein Supplies and Needs. *In* Proteins as Human Food, ed. Lawrie, R.A., pp 3-19. The AVI Publishing Co, Inc. Westport. Conn.
- Barrett, A., G. Kaletunç, S. Rosenberg and K. Breslauer. 1995. Effect of sucrose on the structure, mechanical strength and thermal properties of corn extrudates. Original Research Article *Carbohydrate Polymers.*
- Bo Ding, Q., P. Ainsworth, G. Tucker. And H. Marson. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *J. Food Eng.* 66: 283-289.
- Bhattacharya S. 1997. Twin-screw extrusion of rice-green gram blend: Extrusion and extrudate characteristics. *J. Food Eng.* 32: 83-89
- Boonyasirikool, P., S. Reungmanee-paitoon, S. Thippayang and S. Prabhavat. 1986. Research on the production of High Protein Snack Foods. Asean-Thailand Food Technology Research and Development 1982-1985. Institute of Food Research and Product Development. Kasetsart University. Bangkok. 67 p.
- Chaiyakul, S., K. Jangchud, A. Jangchud, P. Wuttijumnong and W. Ray. 2008. Effect of Protein Content and Extrusion Process on Sensory and Physical Properties of Extruded High-Protein. Glutinous Rice-Based Snack. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 42: 182-190.

- Chen, Hsiao-Ling and Huang Yi-Chia. 2003. Fiber Intake and Food Selection of the Elderly in Taiwan. *Nutr.* 19 (4): 332-336.
- Chinese Food Health, 2009. TCM Practitioners and Nutritionists. Available Source: <http://www.chinesefoodhealth.com/tag/five-color-diet/>, (20 May 2010)
- Ding, Q.B., P. Ainsworth, A. Plunkett, G. Tucker and H. Marson. 2005. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *J. Food Eng.* 73: 142-148.
- Gogoi, B.K., G.S. Choudhury and A.J. Oswalt. 1996. Effect of location and spacing of reverse screw and kneading element combination during twin-screw extrusion of starchy and proteinaceous. *Food Res. Int.* 29 (5-6): 505-512.
- Guy, R. 2001. *Extrusion Cooking-Technologies and applications*. CRC Press. Woodhead Publishing Ltd., USA.
- Juan Antonio Ruano Ortiz, Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, Diego Palmiro Ramirez Ascherl, José Luis Ramirez Ascherl, Cristina Tristão de Andrade. 2010. Effect of sugar and water contents on non-expanded cassava flour extrudates. *J. Food Sci.* 30 (1): 205-212.
- Jin, Z., F. Hsiehl. H.E. Huff. 1994. Effects of Soy Fiber, Salt, Sugar and Screw Speed on Physical Properties and Microstructure of Corn Meal Extrudate. *J. Cereal Sci.* 22: 185-194.
- Lu, S.L., P. Ainsworth, E.A. Özer and A. Plunkett. 2006. Physical and sensory evaluation of a nutritionally balanced gluten-free extruded snack. *J. Food Eng.* 75: 469-472.
- Manisha, G., S.A. Zakiuddin and S. Bhattacharya. 1997. Twin-screw of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *J. Food Eng.* 32: 251-267
- Mercier, C., P. Linko and J.M. Harper. 1989. *Extrusion Cooking*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemist.
- Mezreb, K., A. Goullieux. R. Ralainirina and M. Queneudec. 2006. Effect of sucrose on the textural properties of corn and wheat extrudates. *Carbohydr. Polym.* 64: 1-8.

- Narpinder, Sing., A.C. Smith and N.D. Frame. 1998. Effect of process variables and monoglycerides on extrusion of maize grits using two sizes of extruder. J. Food Eng. 35 (1): 91-109.
- Newsit. 2009. สารสกัดจากถั่วขาว. แหล่งที่มา: <http://www.newsit.com/news/2008-05-27/0811-200a5d5005317c223fc7bbac2dfdd9c9/>, (6 มิถุนายน 2553)
- Plunkett, A., and P. Ainsworth. 2007. The influence of barrel temperature and screw speed on the retention of L-ascorbic acid in an extruded rice based snack product. J. Food Eng. 78: 1127-1133.
- Prapasri Puwasatien, B Burlingame, M Raroengwichit and P Sungpuag 1999. Thai Food Composition Tables. Institute of Nutrition, Mahidol University.
- Riaz, M.D. 2000. Extruders in Food Applications. Technomic Publishing Co. Inc. U.S.
- Sacchetti, G., G.G. Pinnavaia, E. Guidolin and M.D. Rosa. 2004. Effects of Extrusion Temperature and Feed Composition on the Functional, Physical and Sensory Properties of Chestnut and Rice Flour-Based Snack-Like Products. Food Res. Int. 37: 527-534.
- Shen, C. and S. Lim. 2009. Foods with 5 Colors Benefits Health. Available Source: <http://www.theepochtimes.com/news/8-7-6/72993.html>, (12 กรกฎาคม 2553)
- Shirani, G. and R. Ganesharanee. 2009. Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycemic index. J. Food Eng. 90 (1): 44-52.
- Singh, B., K.S. Sekhon and N. Singh. 2007. Effect of Moisture, Temperature and Level of Pea Grits on Extrusion Behavior and Product Characteristics of Rice. Food Chem. 100 (1): 198-202.
- Wang, Y., D. Li, L.J. Wang, Y.L. Chiu, X.D. Chen, Z.H. Mao and C.F. Song. 2008. Optimization of extrusion of flaxseeds for in vitro protein digestibility analysis using response surface methodology. J. Food Eng. 85: 59-64.
- Yanniotis, S., A. Petraki and E. Soumpasi. 2007. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. Available Source: <http://www.aseanfood.info/Articles/11017814.pdf>, (4 July 2010).

ภาคผนวก

- ก. ภาพอุปกรณ์ วิธีการทดลอง และผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากถั่ว 5 สี
- ข. ภาพผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่ได้จากการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน
- ค. ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ

ภาคผนวก ก

ภาพอุปกรณ์ วิธีการทดลอง และผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากถั่ว 5 สี



เครื่องเอ็กซ์ทูเดอร์



ประกอบหน้าแปลน



เครื่องเอ็กซ์ทูเดอร์



การผลิตแบบเอ็กซ์ทูชัน



สกรู



หน้าแปลน



เครื่องบด (Hammer Mill)



Texture Analyser



Centrifuge



ชุดป้อนวัตถุดิบ



อัตราขยายตัว



WAI & WSI



ความหนาแน่นรวม



เครื่องวัดความชื้น



เครื่องวัดสี



ถั่วเขียว:ลูกเตี๋ย = 50:50 (JG) =



ถั่วแดง:ลูกเตี๋ย = 50:50 (JR)



ถั่วดำ:ลูกเตี๋ย = 50:50 (JB)



ถั่วขาว:ลูกเตี๋ย = 50:50 (JW)



ถั่วเหลือง:ลูกเตี๋ย = 30:70 (JY)

ภาคผนวก ข
ภาพผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่ได้จากการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน

ภาคผนวก ข.1



ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากวัตถุดิบผสมถั่วเขียว: ลูกเต๋อย

ภาคผนวก ข.2



ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากวัตถุดิบผสมถั่วแดง: ลูกเดียว

ภาคผนวก ข.3



ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากวัตถุดิบผสมถั่วดำ: ลูกเดียว

ภาคผนวก ข.4



ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากวัตถุดิบผสมถั่วขาว:สูงเดียว

ภาคผนวก ข.5



ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากวัตถุดิบผสมถั่วเหลือง: ลูกเดียว

ภาคผนวก ค

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ แสดงนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง ข.1 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความขึ้นเิกซ์ทรูเคต ถั่วเขียวผสมลูกเดียว

SUMMARY

OUTPUT

MC4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9398
R Square	0.8832
Adjusted R Square	0.8473
Standard Error	0.4542
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance F</i>		<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
				<i>F</i>	<i>F</i>				
Regression	4	20.2839	5.0710	24.5837	5.83791E-06				
Residual	13	2.6816	0.2063						
Total	17	22.9655							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	13.0286	3.6900	3.5308	0.0037	5.0569	21.0003	5.0569	21.0003	
X Variable 1	0.1146	0.0870	1.3173	0.2105	-0.0733	0.3024	-0.0733	0.3024	
X Variable 2	-0.0330	0.0069	-4.7800	0.0004	-0.0479	-0.0181	-0.0479	-0.0181	
X Variable 4	-0.0027	0.0006	-4.7919	0.0004	-0.0039	-0.0015	-0.0039	-0.0015	

ตาราง ข.2 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความหนาแน่นรวมของถั่วเขียวผสมลูกเดียว

SUMMARY

OUTPUT

bulk density 4

Regression Statistics	
Multiple R	0.9867
R Square	0.9737
Adjusted R Square	
Standard Error	0.0090
Observations	18

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	0.0391	0.0098	120.1593	3.96747E-10
Residual	13	0.0011	0.0001		
Total	17	0.0402			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0.36947	0.07328	5.04160	0.00023	0.21115	0.52779	0.21115	0.52779
X Variable 1	0.00325	0.00173	1.88166	0.08246	-0.00048	0.00698	-0.00048	0.00698
X Variable 2	-0.00052	0.00014	-3.80180	0.00220	-0.00082	-0.00022	-0.00082	-0.00022
X Variable 3	-0.00001	0.00000	-2.64033	0.02038	-0.00001	0.00000	-0.00001	0.00000
X Variable 4	0.00001	0.00001	1.05507	0.31061	-0.00001	0.00004	-0.00001	0.00004

ตาราง ข.3 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความหนาแน่นจริงของเอ็กซ์ทรูเดตถั่วเขียวผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

true 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9557
R Square	0.9134
Adjusted R Square	0.8867
Standard Error	0.0155
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	0.03283	0.00821	34.27630	8.61459E-07
Residual	13	0.00311	0.00024		
Total	17	0.03594			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.4687	0.1257	3.7283	0.0025	0.1971	0.7403	0.1971	0.7403
X Variable 1	0.0094	0.0030	3.1616	0.0075	0.0030	0.0158	0.0030	0.0158
X Variable 2	-0.0006	0.0002	-2.7522	0.0165	-0.0012	-0.0001	-0.0012	-0.0001
X Variable 3	0.0000	0.0000	1.3282	0.2069	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	-0.0001	0.0000	-5.3184	0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001

ตาราง ข.4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความสว่างของเอ็กซ์ทราเคกต์ถั่วเขียวผสมลูกเดียว

SUMMARY

L*

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9940
R Square	0.9880
Adjusted R Square	
Standard Error	0.6801
Observations	18

ANOVA

				<i>Significance</i>	
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	496.1452	124.0363	268.1572	2.3946E-12
Residual	13	6.0132	0.4626		
Total	17	502.1584			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	81.5240	5.5256	14.7538	0.0000	69.5866	93.4613	69.5866	93.4613
X Variable 1	-0.9688	0.1302	-7.4387	0.0000	-1.2501	-0.6874	-1.2501	-0.6874
X Variable 2	-0.0306	0.0103	-2.9591	0.0111	-0.0529	-0.0082	-0.0529	-0.0082
X Variable 3	0.0025	0.0002	12.8822	0.0000	0.0021	0.0030	0.0021	0.0030
X Variable 4	-0.0029	0.0009	-3.4284	0.0045	-0.0048	-0.0011	-0.0048	-0.0011

ตาราง ข.5 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นสีแดงของเอ็กซ์ทราเคกต์หัวเขียวผสมลูกเดียว

SUMMARY

a*

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9908
R Square	0.9818
Adjusted R Square	0.9761
Standard Error	0.2043
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance F</i>	
				<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	29.1942	7.2985	174.9059	0.0000
Residual	13	0.5425	0.0417		
Total	17	29.7367			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>		<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Upper Lower Upper</i>		
						<i>Lower 95%</i>	<i>95%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	-10.9672	1.6596	-6.6081	0.0000	-14.5526	-7.3817	-14.5526	-7.3817
X Variable 1	0.4993	0.0391	12.7655	0.0000	0.4148	0.5838	0.4148	0.5838
X Variable 2	0.0414	0.0031	13.3572	0.0000	0.0347	0.0481	0.0347	0.0481
X Variable 3	-0.0011	0.0001	-18.5549	0.0000	-0.0012	-0.0010	-0.0012	-0.0010
X Variable 4	0.0008	0.0003	3.3044	0.0057	0.0003	0.0014	0.0003	0.0014

ตาราง ข.6 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นสี่เหลี่ยมของเอ็กซ์ทราเคกัวเวียพสมลูกเดียว

SUMMARY

b*

Regression Statistics								
Multiple R	0.9336							
R Square	0.8717							
Adjusted R Square	0.8322							
Standard Error	0.5351							
Observations	18							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	4	25.2892	6.3223	22.0796	0.0000			
Residual	13	3.7224	0.2863					
Total	17	29.0116						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	4.4219	4.3475	1.0171	0.3277	-4.9704	13.8141	-4.9704	13.8141
X Variable 1	0.4248	0.1025	4.1453	0.0012	0.2034	0.6461	0.2034	0.6461
X Variable 2	0.0329	0.0081	4.0543	0.0014	0.0154	0.0505	0.0154	0.0505
X Variable 3	-0.0009	0.0002	-5.6806	0.0001	-0.0012	-0.0005	-0.0012	-0.0005
X Variable 4	0.0006	0.0007	0.9064	0.3812	-0.0008	0.0021	-0.0008	0.0021

ตาราง ข.7 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทราคต์หัวเปี้ยวผสมลูกเคียว

SUMMARY

WAI

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9306
R Square	0.8660
Adjusted R Square	0.7894
Standard Error	0.2529
Observations	12

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance F</i>				
				<i>F</i>	<i>F</i>			
Regression	4	2.8917	0.7229	11.3056	0.0036			
Residual	7	0.4476	0.0639					
Total	11	3.3394						
	<i>Standard</i>		<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Upper</i>		<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>			<i>Lower 95%</i>	<i>95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	2.2777	2.5162	0.9052	0.3954	-3.6723	8.2276	-3.6723	8.2276
X Variable 1	0.1062	0.0593	1.7909	0.1164	-0.0340	0.2464	-0.0340	0.2464
X Variable 2	0.0018	0.0047	0.3794	0.7156	-0.0093	0.0129	-0.0093	0.0129
X Variable 3	-0.0001	0.0001	-0.6337	0.5464	-0.0003	0.0002	-0.0003	0.0002
X Variable 4	-0.0011	0.0004	-2.7135	0.0300	-0.0020	-0.0001	-0.0020	-0.0001

ตาราง ข.8 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการละลายน้ำของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วเขียวผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

WSI 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9889
R Square	0.9779
Adjusted R Square	
Square	0.9653
Standard Error	1.7172
Observations	12

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance</i>	
				<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	914.2409	228.5602	77.5134	0.0000
Residual	7	20.6406	2.9487		
Total	11	934.8815			

	<i>Standard</i>		<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>		<i>Upper</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>					<i>95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	-125.3434	17.0867	-7.3357	0.0002	-165.7470	-84.9397	-165.7470	-84.9397	-84.9397
X Variable 1	2.3185	0.4027	5.7572	0.0007	1.3662	3.2708	1.3662	3.2708	3.2708
X Variable 2	0.3000	0.0319	9.3942	0.0000	0.2245	0.3755	0.2245	0.3755	0.3755
X Variable 3	-0.0049	0.0006	-8.1009	0.0001	-0.0064	-0.0035	-0.0064	-0.0035	-0.0035
X Variable 4	0.0058	0.0026	2.2072	0.0631	-0.0004	0.0120	-0.0004	0.0120	0.0120

ตาราง ข.9 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราส่วนการขยายตัวของเอ็กซ์ทราแคตตัวเขียวผสมลูกเดียว

SUMMARY

ER4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.8677
R Square	0.7529
Adjusted R Square	0.7350
Standard Error	0.0648
Observations	60.0000

ANOVA

				<i>Significance</i>	
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	0.7029	0.1757	41.9040	0.0000
Residual	55	0.2306	0.0042		
Total	59	0.9336			

	<i>Standard</i>					<i>Upper</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	3.3762	0.2882	11.7158	0.0000	2.7987	3.9537	2.7987	3.9537
X Variable 1	-0.0261	0.0068	-3.8456	0.0003	-0.0397	-0.0125	-0.0397	-0.0125
X Variable 2	-0.0038	0.0005	-7.0196	0.0000	-0.0049	-0.0027	-0.0049	-0.0027
X Variable 3	0.0001	0.0000	9.6385	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
X Variable 4	-0.0002	0.0000	-5.1755	0.0000	-0.0003	-0.0001	-0.0003	-0.0001

ตาราง ข.10 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความชื้นของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วขาวผสมลูกเคียว

SUMMARY

moisture4

Regression Statistics								
Multiple R	0.7078							
R Square	0.5010							
Adjusted R Square	0.3475							
Standard Error	0.6094							
Observations	18							
ANOVA								
		Significance						
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4	4.8480	1.2120	3.2631	0.046418023			
Residual	13	4.8285	0.3714					
Total	17	9.6765						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-6.0659	4.9515	1.2251	0.2423	-16.7630	4.6312	-16.7630	4.6312
X Variable 1	0.3495	0.1167	2.9951	0.0103	0.0974	0.6016	0.0974	0.6016
X Variable 2	0.0088	0.0093	0.9482	0.3603	-0.0112	0.0288	-0.0112	0.0288
X Variable 3	-0.0002	0.0002	1.2040	0.2501	-0.0006	0.0002	-0.0006	0.0002
X Variable 4	-0.0025	0.0008	3.2768	0.0060	-0.0041	-0.0009	-0.0041	-0.0009

ตาราง ข.11 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความความหนาแน่นรวมของเอ็กซ์ทราเคดถั่วขาวผสมลูกเดียว

SUMMARY

bulk 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9843
R Square	0.9689
Adjusted R Square	0.9594
Standard Error	0.0139
Observations	18

ANOVA

					<i>Significance</i>
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	0.0785	0.0196	101.3467	1.15766E-09
Residual	13	0.0025	0.0002		
Total	17	0.0811			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.0387	0.1131	0.3423	0.7376	-0.2830	0.2056	-0.2830	0.2056
X Variable 1	0.0130	0.0027	4.8693	0.0003	0.0072	0.0187	0.0072	0.0187
X Variable 2	0.0003	0.0002	1.2312	0.2400	-0.0002	0.0007	-0.0002	0.0007
X Variable 3	0.0000	0.0000	6.1446	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	0.0000	0.0000	1.0317	0.3210	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001

ตาราง ข.12 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความหนาแน่นจริงของเอ็กซ์ทรูเดตข้าวผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

true 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.8024
R Square	0.6439
Adjusted R Square	0.5343

Standard Error	0.0172
Observations	18

ANOVA

				Significance				
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4	0.0069	0.0017	5.8758	0.006312926			
Residual	13	0.0038	0.0003					
Total	17	0.0108						
		Standard		P-		Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	0.2341	0.1397	1.6758	0.1176	-0.0677	0.5358	-0.0677	0.5358
X Variable 1	0.0097	0.0033	2.9412	0.0115	0.0026	0.0168	0.0026	0.0168
X Variable 2	0.0005	0.0003	2.0190	0.0646	0.0000	0.0011	0.0000	0.0011
X Variable 3	0.0000	0.0000	2.8707	0.0131	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	0.0000	0.0000	0.8381	0.4171	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000

ตาราง .13 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสว่างของเอ็กซ์ทราเคกต์ถั่วขาวผสมลูกเคียว

SUMMARY

L* 4

Regression Statistics

Multiple R	0.9116
R Square	0.8309
Adjusted R Square	0.7789
Standard Error	1.5118
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance</i>			
					<i>F</i>			
Regression	4	146.0258	36.5065	15.9733	6.14635E-05			
Residual	13	29.7111	2.2855					
Total	17	175.7370						
	<i>Standard</i>				<i>Upper</i>			
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	51.6928	12.2825	4.2086	0.0010	25.1580	78.2277	25.1580	78.2277
X Variable 1	0.0591	0.2895	0.2041	0.8414	-0.5663	0.6845	-0.5663	0.6845
X Variable 2	0.0313	0.0230	1.3627	0.1961	-0.0183	0.0809	-0.0183	0.0809
X Variable 3	0.0004	0.0004	0.8039	0.4359	-0.0006	0.0013	-0.0006	0.0013
X Variable 4	-0.0031	0.0019	-1.6658	0.1197	-0.0072	0.0009	-0.0072	0.0009

ตาราง ข.14 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีแดงของเอ็กซ์ทราเซลล์ลัวร์ขาวผสมลูกเดียว

SUMMARY

a*4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9030							
R Square	0.8155							
Adjusted R Square	0.7587							
Standard Error	0.6410							
Observations	18							
ANOVA								
				Significance				
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4	23.6076	5.9019	14.3620	0.000106874			
Residual	13	5.3422	0.4109					
Total	17	28.9499						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	17.4690	5.2082	3.3541	0.0052	6.2173	28.7206	6.2173	28.7206
X Variable 1	-0.0802	0.1228	0.6538	0.5247	-0.3454	0.1849	-0.3454	0.1849
X Variable 2	-0.0101	0.0097	1.0351	0.3195	-0.0311	0.0110	-0.0311	0.0110
X Variable 3	-0.0002	0.0002	1.0402	0.3172	-0.0006	0.0002	-0.0006	0.0002
X Variable 4	0.0020	0.0008	2.5193	0.0256	0.0003	0.0037	0.0003	0.0037

ตาราง ข.15 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีเหลืองของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วขาวผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

b*4

Regression Statistics								
Multiple R	0.8525							
R Square	0.7267							
Adjusted R Square	0.6426							
Standard Error	1.0400							
Observations	18							
ANOVA								
		Significance						
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4	37.3932	9.3483	8.6430	0.001246052			
Residual	13	14.0609	1.0816					
Total	17	51.4541						
		Standard		P-		Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	8.2035	8.4496	0.9709	0.3493	-10.0507	26.4578	-10.0507	26.4578
X Variable 1	0.0312	0.1991	0.1565	0.8780	-0.3991	0.4614	-0.3991	0.4614
X Variable 2	0.0223	0.0158	1.4106	0.1818	-0.0118	0.0564	-0.0118	0.0564
X Variable 3	-0.0004	0.0003	1.3573	0.1978	-0.0011	0.0002	-0.0011	0.0002
X Variable 4	0.0025	0.0013	1.9471	0.0735	-0.0003	0.0053	-0.0003	0.0053

ตาราง ข.16 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเอ็กส์ทราคตถั่วขาวผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

wai

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9555
R Square	0.9130
Adjusted R Square	0.8633
Standard Error	0.0761
Observations	12

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance F</i>	
				<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	0.4258	0.1064	18.3686	0.00081439
Residual	7	0.0406	0.0058		
Total	11	0.4664			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>		<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Upper 95%</i>		<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
		<i>Error</i>				<i>95%</i>		<i>95.0%</i>	
Intercept	5.3006	0.7575	6.9977	0.0002	3.5095	7.0918	3.5095	7.0918	
X Variable 1	-0.0431	0.0179	2.4127	0.0466	-0.0853	-0.0009	-0.0853	-0.0009	
X Variable 2	0.0018	0.0014	1.2529	0.2505	-0.0016	0.0051	-0.0016	0.0051	
X Variable 3	0.0000	0.0000	0.6903	0.5122	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	
X Variable 4	0.0004	0.0001	3.6279	0.0084	0.0001	0.0007	0.0001	0.0007	

ตาราง ข.17 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรักต์ถั่วขาวผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

Wsi

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9570
R Square	0.9159
Adjusted R Square	0.8678
Standard Error	0.8246
Observations	12

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	51.8059	12.9515	19.0490	0.000726613
Residual	7	4.7593	0.6799		
Total	11	56.5652			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	6.9220	8.2048	0.8437	0.4268	-12.4793	26.3233	-12.4793	26.3233
X Variable 1	-0.1112	0.1934	-0.5749	0.5834	-0.5684	0.3461	-0.5684	0.3461
X Variable 2	0.0478	0.0153	3.1156	0.0169	0.0115	0.0840	0.0115	0.0840
X Variable 3	-0.0004	0.0003	-1.2745	0.2432	-0.0011	0.0003	-0.0011	0.0003
X Variable 4	0.0021	0.0013	1.6775	0.1373	-0.0009	0.0051	-0.0009	0.0051

ตาราง ข.18 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราส่วนการขยายตัวของเอ็กซ์ทราเคกต์จากพืชสมุนไพร

SUMMARY

ER 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.8855							
R Square	0.7842							
Adjusted R Square	0.7685							
Standard Error	0.0691							
Observations	60							
ANOVA								
						Significance		
	df	SS	MS	F	F			
					1.09889E-			
Regression	4	0.9549	0.2387	49.9605	17			
Residual	55	0.2628	0.0048					
Total	59	1.2177						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	2.1130	0.3076	6.8690	0.0000	1.4965	2.7294	1.4965	2.7294
X Variable 1	-0.0356	0.0072	4.9073	0.0000	-0.0501	-0.0210	-0.0501	-0.0210
X Variable 2	0.0006	0.0006	1.0513	0.2977	-0.0005	0.0018	-0.0005	0.0018
X Variable 3	0.0000	0.0000	2.5814	0.0125	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
X Variable 4	0.0002	0.0000	3.7040	0.0005	0.0001	0.0003	0.0001	0.0003

ตาราง ข.19 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความขึ้นของเอ็กซ์ทรูคตั่วเหลืองผสมลูกเดียว

SUMMARY

mois 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9783							
R Square	0.9571							
Adjusted R Square	0.9439							
Standard Error	0.2951							
Observations	18							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
					9.35604E-			
Regression	4	25.2455	6.3114	72.4667	09			
Residual	13	1.1322	0.0871					
Total	17	26.3777						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	7.8704	2.3977	3.2825	0.0059	2.6906	13.0503	2.6906	13.0503
X Variable 1	-0.0079	0.0565	0.1402	0.8907	-0.1300	0.1142	-0.1300	0.1142
			-					
X Variable 2	-0.0159	0.0045	3.5384	0.0036	-0.0255	-0.0062	-0.0255	-0.0062
X Variable 3	0.0003	0.0001	3.6377	0.0030	0.0001	0.0005	0.0001	0.0005
			-					
X Variable 4	-0.0008	0.0004	2.0805	0.0578	-0.0016	0.0000	-0.0016	0.0000

ตาราง ข.20 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความหนาแน่นรวมของเอ็กซ์ทราเซลล์ลูลีองผสมลูกเดียว

SUMMARY

Bulk 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9953
R Square	0.9907
Adjusted R Square	0.9879
Standard Error	0.0128
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	0.2275	0.0569	346.6125	4.60744E-13
Residual	13	0.0021	0.0002		
Total	17	0.2296			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.5098	0.1041	-4.8987	0.0003	-0.7346	-0.2850	-0.7346	-0.2850
X Variable 1	0.0381	0.0025	15.5302	0.0000	0.0328	0.0434	0.0328	0.0434
X Variable 2	0.0002	0.0002	1.2036	0.2502	-0.0002	0.0007	-0.0002	0.0007
X Variable 3	0.0000	0.0000	-6.4785	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	-0.0002	0.0000	12.7959	0.0000	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0002

ตาราง ข.21 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความหนาแน่นจริงของเอ็กซ์ทราคต์หัวเหลืองผสมลูกเดียว

SUMMARY

True 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.8502
R Square	0.7229
Adjusted R Square	0.6376
Standard Error	0.0331
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance</i>				
				<i>F</i>	<i>F</i>			
Regression	4	0.0372	0.0093	8.4776	0.001358783			
Residual	13	0.0143	0.0011					
Total	17	0.0515						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard</i>		<i>P-value</i>	<i>Significance</i>			
		<i>Error</i>	<i>t Stat</i>		<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.1019	0.2692	0.3787	0.7110	-0.6834	0.4796	-0.6834	0.4796
X Variable 1	0.0205	0.0063	3.2361	0.0065	0.0068	0.0342	0.0068	0.0342
X Variable 2	0.0004	0.0005	0.7837	0.4472	-0.0007	0.0015	-0.0007	0.0015
X Variable 3	0.0000	0.0000	0.7814	0.4486	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	-0.0001	0.0000	3.5279	0.0037	-0.0002	-0.0001	-0.0002	-0.0001

ตาราง ข.22 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสว่างของอิเล็กทรอนิกส์ทุดแก้วเหลืองผสมลูกเคียว

SUMMARY

L* 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9462
R Square	0.8952
Adjusted R Square	0.8630
Standard Error	1.9946
Observations	18

ANOVA

					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
					2.91565E-			
Regression	4	442.0357	110.5089	27.7762	06			
Residual	13	51.7211	3.9785					
Total	17	493.7568						

		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	96.0204	16.2055	5.9252	0.0001	61.0105	131.0303	61.0105	131.0303
X Variable 1	-1.6544	0.3819	-4.3316	0.0008	-2.4796	-0.8293	-2.4796	-0.8293
X Variable 2	-0.0349	0.0303	-1.1518	0.2702	-0.1003	0.0305	-0.1003	0.0305
X Variable 3	0.0024	0.0006	4.1305	0.0012	0.0011	0.0036	0.0011	0.0036
X Variable 4	0.0037	0.0025	1.4656	0.1665	-0.0017	0.0090	-0.0017	0.0090

ตาราง ข.23 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีแดงของเอ็กซ์ทราแควตตัวเหลืองผสมลูกเดียว

SUMMARY

a* 4

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.9984							
R Square	0.9969							
Adjusted R Square	0.9959							
Standard Error	0.0954							
Observations	18							

ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>		<i>Significance</i>		
						<i>F</i>		
Regression	4	38.0725	9.5181	1045.0401		16	3.69832E-	
Residual	13	0.1184	0.0091					
Total	17	38.1909						

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	24.0967	0.7754	31.0777	0.0000	22.4216	25.7718	22.4216	25.7718
X Variable 1	-0.1779	0.0183	-9.7358	0.0000	-0.2174	-0.1384	-0.2174	-0.1384
X Variable 2	-0.0259	0.0014	17.8828	0.0000	-0.0290	-0.0228	-0.0290	-0.0228
X Variable 3	0.0001	0.0000	3.1156	0.0082	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
X Variable 4	0.0019	0.0001	15.9445	0.0000	0.0016	0.0022	0.0016	0.0022

ตาราง ข.24 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสี่เหลี่ยมของเอ็กซ์ทราเคกต์หัวเหลืองผสมลูกเดียว

SUMMARY

b* 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9790							
R Square	0.9583							
Adjusted R Square	0.9455							
Standard Error	0.7208							
Observations	18							
ANOVA								
						Significance		
	df	SS	MS	F	F			
					7.70783E-			
Regression	4	155.3783	38.8446	74.7718	09			
Residual	13	6.7536	0.5195					
Total	17	162.1319						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	5.4349	5.8559	0.9281	0.3703	-7.2161	18.0859	-7.2161	18.0859
X Variable 1	0.4814	0.1380	3.4881	0.0040	0.1832	0.7796	0.1832	0.7796
X Variable 2	0.0101	0.0109	0.9239	0.3724	-0.0135	0.0338	-0.0135	0.0338
X Variable 3	0.0000	0.0002	0.0160	0.9875	-0.0004	0.0005	-0.0004	0.0005
X Variable 4	-0.0031	0.0009	-3.4361	0.0044	-0.0050	-0.0011	-0.0050	-0.0011

ตาราง ข.25 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทราคตหัวเหียงผสมลูกเดียว

SUMMARY

wai 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9860							
R Square	0.9722							
Adjusted R Square	0.9564							
Standard Error	0.0793							
Observations	12							
ANOVA								
						Significance		
	df	SS	MS	F	F			
					1.57184E-			
Regression	4	1.5403	0.3851	61.2608	05			
Residual	7	0.0440	0.0063					
Total	11	1.5843						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	7.2969	0.7889	9.2493	0.0000	5.4314	9.1624	5.4314	9.1624
X Variable 1	-0.1866	0.0186	10.0354	0.0000	-0.2306	-0.1426	-0.2306	-0.1426
X Variable 2	0.0005	0.0015	0.3304	0.7507	-0.0030	0.0040	-0.0030	0.0040
X Variable 3	0.0000	0.0000	1.3356	0.2235	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
X Variable 4	0.0016	0.0001	13.0426	0.0000	0.0013	0.0019	0.0013	0.0019

ตาราง ข.26 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรูเดตข้าวเหลืองผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

WSI 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.8999							
R Square	0.8098							
Adjusted R Square	0.7012							
Standard Error	1.6893							
Observations	12							
ANOVA								
				Significance				
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4	85.0668	21.2667	7.4523	0.011500098			
Residual	7	19.9761	2.8537					
Total	11	105.0429						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	60.8612	16.8094	3.6207	0.0085	21.1132	100.6091	21.1132	100.6091
X Variable 1	-1.0626	0.3962	-2.6820	0.0314	-1.9994	-0.1257	-1.9994	-0.1257
X Variable 2	-0.0308	0.0314	-0.9802	0.3597	-0.1051	0.0435	-0.1051	0.0435
X Variable 3	0.0001	0.0006	0.2446	0.8137	-0.0013	0.0016	-0.0013	0.0016
X Variable 4	0.0089	0.0026	3.4221	0.0111	0.0027	0.0150	0.0027	0.0150

ตาราง ข.27 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการขยายตัวของเอ็กซ์ทราแควเทคั่วเหลืองผสมลูกเดียว

SUMMARY

ER4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9432							
R Square	0.8897							
Adjusted R Square	0.8817							
Standard Error	0.1113							
Observations	60							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
					1.19282E-			
Regression	4	5.5007	1.3752	110.9124	25			
Residual	55	0.6819	0.0124					
Total	59	6.1826						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	3.2138	0.4955	6.4859	0.0000	2.2208	4.2068	2.2208	4.2068
			-					
X Variable 1	-0.0655	0.0117	5.6096	0.0000	-0.0889	-0.0421	-0.0889	-0.0421
			-					
X Variable 2	-0.0007	0.0009	0.7118	0.4796	-0.0025	0.0012	-0.0025	0.0012
X Variable 3	0.0000	0.0000	1.7648	0.0831	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
X Variable 4	0.0003	0.0001	4.2084	0.0001	0.0002	0.0005	0.0002	0.0005

ตาราง ข.28 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของความขึ้นเิกซ์ทรูเคตถั่วคำผสมลูกเดียว

SUMMARY

OUTPUT

Mc4

Regression Statistics	
Multiple R	0.8649
R Square	0.7481
Adjusted R Square	0.6706
Standard Error	0.4126
Observations	18

ANOVA

				Significance	
	df	SS	MS	F	F
Regression	4	6.5740	1.6435	9.6529	0.000751404
Residual	13	2.2134	0.1703		
Total	17	8.7874			

		Standard		P-		Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	7.3748	3.3524	2.1999	0.0465	0.1324	14.6172	0.1324	14.6172
X Variable 1	-0.2101	0.0790	2.6590	0.0197	-0.3808	-0.0394	-0.3808	-0.0394
X Variable 2	-0.0053	0.0063	0.8531	0.4090	-0.0189	0.0082	-0.0189	0.0082
X Variable 3	0.0003	0.0001	2.3788	0.0334	0.0000	0.0005	0.0000	0.0005
X Variable 4	0.0009	0.0005	1.6831	0.1162	-0.0002	0.0020	-0.0002	0.0020

ตาราง ข.29 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนาแน่นรวมของเอ็กซ์ทราเคตตัวคำผสมลูกเดียว

SUMMARY

Bulk 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9683							
R Square	0.9376							
Adjusted R Square	0.9184							
Standard Error	0.0204							
Observations	18							
ANOVA								
						Significance		
	df	SS	MS	F	F			
					1.04254E-			
Regression	4	0.0815	0.0204	48.8617	07			
Residual	13	0.0054	0.0004					
Total	17	0.0869						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-0.5546	0.1659	3.3435	0.0053	-0.9129	-0.1962	-0.9129	-0.1962
X Variable 1	0.0359	0.0039	9.1958	0.0000	0.0275	0.0444	0.0275	0.0444
X Variable 2	0.0005	0.0003	1.7597	0.1020	-0.0001	0.0012	-0.0001	0.0012
X Variable 3	0.0000	0.0000	5.1727	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	-0.0002	0.0000	7.9457	0.0000	-0.0003	-0.0001	-0.0003	-0.0001

ตาราง ข.30 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนาแน่นจริงของเอ็กซ์ทราแคตตัวผสมลูกเดียว

SUMMARY

TRUE 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9903							
R Square	0.9808							
Adjusted R Square	0.9749							
Standard Error	0.0123							
Observations	18							
ANOVA								
		Significance						
	df	SS	MS	F	F			
					5.13214E-			
Regression	4	0.1005	0.0251	165.9567	11			
Residual	13	0.0020	0.0002					
Total	17	0.1025						
	Coefficients	Standard	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper	Lower	Upper
		Error				95%	95.0%	95.0%
Intercept	-0.5608	0.1000	-5.6094	0.0001	-0.7768	-0.3448	-0.7768	-0.3448
X Variable 1	0.0355	0.0024	15.0645	0.0000	0.0304	0.0406	0.0304	0.0406
X Variable 2	0.0018	0.0002	9.6745	0.0000	0.0014	0.0022	0.0014	0.0022
X Variable 3	-0.0001	0.0000	16.2200	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000
X Variable 4	-0.0001	0.0000	-3.5672	0.0034	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000

ตาราง ข.31 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสว่างของอิเล็กทรอนิกส์ตัวค่าผสมลูกเดียว

SUMMARY

L* 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9955							
R Square	0.9911							
Adjusted R Square	0.9883							
Standard Error	0.6536							
Observations	18							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
					3.59625E-			
Regression	4	615.5995	153.8999	360.2237	13			
Residual	13	5.5540	0.4272					
Total	17	621.1535						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	-11.2264	5.3105	-2.1140	0.0544	-22.6990	0.2462	-22.6990	0.2462
X Variable 1	0.7591	0.1252	6.0649	0.0000	0.4887	1.0295	0.4887	1.0295
X Variable 2	0.1619	0.0099	16.3155	0.0000	0.1405	0.1834	0.1405	0.1834
X Variable 3	-0.0013	0.0002	-6.9339	0.0000	-0.0017	-0.0009	-0.0017	-0.0009
X Variable 4	-0.0029	0.0008	-3.5902	0.0033	-0.0047	-0.0012	-0.0047	-0.0012

ตาราง ข.32 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีแดงของเอ็กซ์ทราเคกต์ถั่วคำผสมลูกเดียว

SUMMARY

a*

Regression Statistics								
Multiple R	0.9727							
R Square	0.9462							
Adjusted R Square	0.9296							
Standard Error	0.2311							
Observations	18							
ANOVA								
						Significance		
	df	SS	MS	F	F			
					4.03203E-			
Regression	4	12.2066	3.0516	57.1349	08			
Residual	13	0.6943	0.0534					
Total	17	12.9009						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	26.2093	1.8777	13.9585	0.0000	22.1529	30.2657	22.1529	30.2657
X Variable 1	-0.4676	0.0443	10.5659	0.0000	-0.5632	-0.3720	-0.5632	-0.3720
X Variable 2	-0.0216	0.0035	-6.1490	0.0000	-0.0292	-0.0140	-0.0292	-0.0140
X Variable 3	0.0003	0.0001	4.3468	0.0008	0.0001	0.0004	0.0001	0.0004
X Variable 4	0.0034	0.0003	11.7838	0.0000	0.0028	0.0040	0.0028	0.0040

ตาราง ข.33 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีเหลืองของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วคำผสมลูกเดียว

SUMMARY

b*

Regression Statistics								
Multiple R	0.9944							
R Square	0.9888							
Adjusted R Square	0.9853							
Standard Error	0.2728							
Observations	18							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance			
				F				
				1.59596E-				
Regression	4	85.0578	21.2644	285.6671	12			
Residual	13	0.9677	0.0744					
Total	17	86.0255						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	51.9902	2.2167	23.4544	0.0000	47.2014	56.7790	47.2014	56.7790
				-				
X Variable 1	-1.2329	0.0522	23.5994	0.0000	-1.3458	-1.1201	-1.3458	-1.1201
				-				
X Variable 2	-0.0511	0.0041	12.3450	0.0000	-0.0601	-0.0422	-0.0601	-0.0422
X Variable 3	0.0012	0.0001	15.0774	0.0000	0.0010	0.0014	0.0010	0.0014
X Variable 4	0.0072	0.0003	21.1301	0.0000	0.0065	0.0079	0.0065	0.0079

ตาราง ข.34 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วดำผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

WAI 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.7143
R Square	0.5102
Adjusted R Square	0.2303
Standard Error	0.1873
Observations	12

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance F</i>	
				<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	0.2557	0.0639	1.8227	0.229113843
Residual	7	0.2455	0.0351		
Total	11	0.5013			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>95% Confidence Interval</i>			
					<i>Lower</i>	<i>Upper</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
Intercept	4.2328	1.8636	2.2713	0.0574	-0.1738	8.6394	-0.1738	8.6394
X Variable 1	-0.0113	0.0439	0.2584	0.8035	-0.1152	0.0925	-0.1152	0.0925
X Variable 2	-0.0002	0.0035	0.0636	0.9511	-0.0085	0.0080	-0.0085	0.0080
X Variable 3	0.0001	0.0001	0.7679	0.4676	-0.0001	0.0002	-0.0001	0.0002
X Variable 4	-0.0001	0.0003	0.3282	0.7523	-0.0008	0.0006	-0.0008	0.0006

ตาราง ข.35 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรูเกตต์วุ้นคำผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

WSI 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.8750
R Square	0.7656
Adjusted R Square	0.6317
Standard Error	2.7865
Observations	12

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	177.5390	44.3847	5.7165	0.022936681
Residual	7	54.3502	7.7643		
Total	11	231.8892			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-68.4268	27.7267	-2.4679	0.0430	-133.9899	-2.8637	-133.9899	-2.8637
X Variable 1	1.1202	0.6535	1.7142	0.1302	-0.4251	2.6654	-0.4251	2.6654
X Variable 2	0.2114	0.0518	4.0800	0.0047	0.0889	0.3340	0.0889	0.3340
X Variable 3	-0.0034	0.0010	-3.4574	0.0106	-0.0057	-0.0011	-0.0057	-0.0011
X Variable 4	0.0050	0.0043	1.1656	0.2819	-0.0051	0.0151	-0.0051	0.0151

ตาราง ข.36 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการขยายตัวของอิเล็กทรอนิกส์เทคโนโลยี

SUMMARY

ER 4

Regression Statistics									
Multiple R	0.7640								
R Square	0.5837								
Adjusted R Square	0.5535								
Standard Error	0.0713								
Observations	60								
ANOVA									
						Significance			
	df	SS	MS	F		F			
Regression	4	0.3925	0.0981	19.2812		5.8167E-10			
Residual	55	0.2799	0.0051						
Total	59	0.6723							
		Standard					Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%	
Intercept	1.3203	0.3174	4.1592	0.0001	0.6842	1.9565	0.6842	1.9565	
X Variable 1	-0.0010	0.0075	0.1368	0.8917	-0.0160	0.0140	-0.0160	0.0140	
X Variable 2	0.0013	0.0006	2.1183	0.0387	0.0001	0.0024	0.0001	0.0024	
X Variable 3	0.0000	0.0000	0.3272	0.7448	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
X Variable 4	0.0000	0.0000	0.1706	0.8651	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0001	

ตาราง ข.37 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความชื้นของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วแดงผสมลูกเคียว

SUMMARY

mois 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9424							
R Square	0.8881							
Adjusted R Square	0.8536							
Standard Error	0.2882							
Observations	18							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
					4.45478E-			
Regression	4	8.5644	2.1411	25.7868	06			
Residual	13	1.0794	0.0830					
Total	17	9.6438						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-0.4538	2.3411	0.1938	0.8493	-5.5115	4.6038	-5.5115	4.6038
X Variable 1	0.0132	0.0552	0.2392	0.8147	-0.1060	0.1324	-0.1060	0.1324
X Variable 2	0.0165	0.0044	3.7605	0.0024	0.0070	0.0259	0.0070	0.0259
X Variable 3	-0.0005	0.0001	-	0.0001	-0.0006	-0.0003	-0.0006	-0.0003
			5.6308					
X Variable 4	0.0023	0.0004	6.3791	0.0000	0.0015	0.0031	0.0015	0.0031

ตาราง ข.38 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนาแน่นรวมของเอ็กซ์ทราเซลล์ลูล์วแดงผสมลูกเดียว

SUMMARY

Bulk 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9088
R Square	0.8260
Adjusted R Square	0.7725
Standard Error	0.0354
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	0.0774	0.0193	15.4273	7.37503E-05
Residual	13	0.0163	0.0013		
Total	17	0.0937			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.1757	0.2877	0.6106	0.5520	-0.7973	0.4459	-0.7973	0.4459
X Variable 1	0.0106	0.0068	1.5625	0.1422	-0.0041	0.0252	-0.0041	0.0252
X Variable 2	0.0013	0.0005	2.3693	0.0340	0.0001	0.0024	0.0001	0.0024
X Variable 3	0.0000	0.0000	4.2701	0.0009	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000
X Variable 4	0.0001	0.0000	2.8178	0.0145	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002

ตาราง ข.39 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนาแน่นจริงองเอ็กซ์ทรูเคตถั่วแดงผสมลูกเดียว

SUMMARY

true4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9464
R Square	0.8957
Adjusted R Square	0.8636
Standard Error	0.0133
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance</i>
					<i>F</i>
Regression	4	0.0198	0.0049	27.9140	2.83414E-06
Residual	13	0.0023	0.0002		
Total	17	0.0221			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
		<i>Error</i>				<i>95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	0.8147	0.1081	7.5339	0.0000	0.5811	1.0483	0.5811	1.0483
X Variable 1	-0.0041	0.0025	1.6106	0.1313	-0.0096	0.0014	-0.0096	0.0014
X Variable 2	-0.0004	0.0002	1.9016	0.0796	-0.0008	0.0001	-0.0008	0.0001
X Variable 3	0.0000	0.0000	0.1049	0.9180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	0.0001	0.0000	3.2921	0.0058	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001

ตาราง ข.40 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสว่างของเอ็กซ์ทราเคกต์ถั่วแดงผสมลูกเค็ย

SUMMARY

L*

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9869
R Square	0.9739
Adjusted R Square	0.9659
Standard Error	1.0240
Observations	18

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance</i>	
				<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	508.3230	127.0808	121.2027	3.75693E-
Residual	13	13.6305	1.0485		
Total	17	521.9535			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard</i>		<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>		<i>Upper 95%</i>	
		<i>Error</i>	<i>t Stat</i>		<i>95%</i>	<i>95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	-0.91257	8.31925	-0.10969	0.91433	-18.88522	17.06008	-18.88522	17.06008
X Variable 1	-0.12842	0.19607	-0.65494	0.52393	-0.55201	0.29517	-0.55201	0.29517
X Variable 2	0.19495	0.01555	12.53850	0.00000	0.16136	0.22854	0.16136	0.22854
X Variable 3	-0.00211	0.00030	-7.14667	0.00001	-0.00275	-0.00147	-0.00275	-0.00147
X Variable 4	0.01207	0.00128	9.43232	0.00000	0.00931	0.01484	0.00931	0.01484

ตาราง ข.41 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีแดงของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วแดงผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

a*4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9823							
R Square	0.9649							
Adjusted R Square	0.9541							
Standard Error	0.2435							
Observations	18							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
					2.54775E-			
Regression	4	21.1910	5.2978	89.3421	09			
Residual	13	0.7709	0.0593					
Total	17	21.9619						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	10.0450	1.9784	5.0773	0.0002	5.7709	14.3191	5.7709	14.3191
X Variable 1	0.2187	0.0466	4.6895	0.0004	0.1179	0.3194	0.1179	0.3194
X Variable 2	-0.0132	0.0037	3.5790	0.0034	-0.0212	-0.0052	-0.0212	-0.0052
X Variable 3	-0.0001	0.0001	1.4226	0.1784	-0.0003	0.0001	-0.0003	0.0001
X Variable 4	-0.0014	0.0003	4.4899	0.0006	-0.0020	-0.0007	-0.0020	-0.0007

ตาราง ข.42 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นสีเหลืองของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วแดงผสมลูกเดี๋ยย
SUMMARY

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.9836							
R Square	0.9674							
Adjusted R Square	0.9573							
Standard Error	0.3982							
Observations	18							

ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance</i>			
					<i>F</i>			
Regression	4	61.1313	15.2828	96.3721		1.58685E-		
Residual	13	2.0616	0.1586		09			
Total	17	63.1929						

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	26.6081	3.2354	8.2241	0.0000	19.6185	33.5978	19.6185	33.5978
X Variable 1	0.0867	0.0763	1.1366	0.2762	-0.0781	0.2514	-0.0781	0.2514
X Variable 2	-0.0555	0.0060	-9.1800	0.0000	-0.0686	-0.0424	-0.0686	-0.0424
X Variable 3	0.0012	0.0001	10.0110	0.0000	0.0009	0.0014	0.0009	0.0014
X Variable 4	-0.0071	0.0005	14.3262	0.0000	-0.0082	-0.0061	-0.0082	-0.0061

ตาราง ข.43 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทราคแต้วแดงผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

WAI 4

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9580
R Square	0.9178
Adjusted R Square	0.8708
Standard Error	0.1044
Observations	12

ANOVA						<i>Significance</i>		
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>			
Regression	4	0.8511	0.2128	19.5378	0.000670956			
Residual	7	0.0762	0.0109					
Total	11	0.9274						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	2.5399	1.0384	2.4459	0.0444	0.0844	4.9954	0.0844	4.9954
X Variable 1	0.0193	0.0245	0.7870	0.4571	-0.0386	0.0771	-0.0386	0.0771
X Variable 2	0.0035	0.0019	1.8011	0.1147	-0.0011	0.0081	-0.0011	0.0081
X Variable 3	0.0000	0.0000	1.0647	0.3224	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000
X Variable 4	0.0002	0.0002	0.9870	0.3565	-0.0002	0.0005	-0.0002	0.0005

ตาราง ข.44 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสามารถในการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรักต์หัวแดงผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

WSI 4

Regression Statistics								
Multiple R	0.7113							
R Square	0.5060							
Adjusted R Square	0.2237							
Standard Error	2.7905							
Observations	12							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4	55.8323	13.9581	1.7925	0.234785849			
Residual	7	54.5074	7.7868					
Total	11	110.3397						
		Standard		P-		Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	2.9650	27.7667	0.1068	0.9180	-62.6929	68.6229	-62.6929	68.6229
X Variable 1	0.0983	0.6544	0.1503	0.8848	-1.4491	1.6458	-1.4491	1.6458
X Variable 2	0.0371	0.0519	0.7157	0.4973	-0.0856	0.1598	-0.0856	0.1598
X Variable 3	-0.0002	0.0010	-0.1731	0.8675	-0.0025	0.0022	-0.0025	0.0022
X Variable 4	-0.0011	0.0043	-0.2590	0.8031	-0.0112	0.0090	-0.0112	0.0090

ตาราง ข.45 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการขยายตัวของเอ็กซ์ทราเคกัวแดงผสมลูกเดียว

SUMMARY

OUTPUT

ER4

Regression Statistics								
Multiple R	0.9608							
R Square	0.9232							
Adjusted R Square	0.9176							
Standard Error	0.0482							
Observations	60							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
					5.97008E-			
Regression	4	1.5320	0.3830	165.1791	30			
Residual	55	0.1275	0.0023					
Total	59	1.6596						
		Standard			Upper	Lower	Upper	
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	3.7562	0.2143	17.5290	0.0000	3.3267	4.1856	3.3267	4.1856
X Variable 1	-0.0180	0.0051	-3.5665	0.0008	-0.0281	-0.0079	-0.0281	-0.0079
			-					
X Variable 2	-0.0060	0.0004	14.9847	0.0000	-0.0068	-0.0052	-0.0068	-0.0052
X Variable 3	0.0001	0.0000	17.9110	0.0000	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002
			-					
X Variable 4	-0.0005	0.0000	15.9650	0.0000	-0.0006	-0.0005	-0.0006	-0.0005

ตาราง ข.46 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Hardness ของเอ็กซ์ทราแคตตัวเชื่อมผสมลูกเคียว

SUMMARY

OUTPUT

Regression Statistics								
Multiple R	0.7054							
R Square	0.4976							
Adjusted R Square	0.4611							
Standard Error	0.0062							
Observations	60.0000							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	4.0000	0.0021	0.0005	13.6210	0.0000			
Residual	55.0000	0.0021	0.0000					
Total	59.0000	0.0042						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0.0083	0.0277	0.3004	0.7650	-0.0472	0.0639	-0.0472	0.0639
X Variable 1	0.0016	0.0007	2.4021	0.0197	0.0003	0.0029	0.0003	0.0029
X Variable 2	0.0001	0.0001	1.1542	0.2534	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002
X Variable 3	0.0000	0.0000	-3.3596	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	0.0000	0.0000	0.1892	0.8506	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตาราง ข.47 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า crispness ของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วเขียวผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY								
Regression Statistics								
Multiple R	4.81E-01							
R Square	2.32E-01							
Adjusted R Square	1.76E-01							
Standard Error	2.03E-02							
Observations	6.00E+01							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	4.00E+00	0.0069	0.0017	4.1420	0.0053			
Residual	5.50E+01	0.0228	0.0004					
Total	5.90E+01	0.0296						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-6.69E-02	0.0905	-0.7386	0.4633	-0.2483	0.1146	-0.2483	0.1146
X Variable 1	2.55E-03	0.0021	1.1947	0.2373	-0.0017	0.0068	-0.0017	0.0068
X Variable 2	3.40E-04	0.0002	2.0109	0.0492	0.0000	0.0007	0.0000	0.0007
X Variable 3	-7.50E-06	0.0000	-2.3170	0.0243	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	1.67E-05	0.0000	1.1990	0.2357	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตาราง ข.48 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า toughness ของเอ็กซ์ทราแคตฉั้วเขียวผสมลูกเคียว

SUMMARY

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.2394
R Square	0.0573
Adjusted R Square	-0.0112
Standard Error	0.2934
Observations	60.0000

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	4.0000	0.2880	0.0720	0.8363	0.5080			
Residual	55.0000	4.7353	0.0861					
Total	59.0000	5.0233						
	<i>Standard Error</i>		<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>		<i>Upper</i>	<i>Lower</i>
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>			<i>95%</i>		<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	-1.2553	1.3057	-0.9614	0.3406	-3.8720	1.3615	-3.8720	1.3615
X Variable 1	0.0527	0.0308	1.7126	0.0924	-0.0090	0.1144	-0.0090	0.1144
X Variable 2	0.0039	0.0024	1.5784	0.1202	-0.0010	0.0087	-0.0010	0.0087
X Variable 3	-0.0001	0.0000	-1.5867	0.1183	-0.0002	0.0000	-0.0002	0.0000
X Variable 4	-0.0002	0.0002	-0.8266	0.4120	-0.0006	0.0002	-0.0006	0.0002

ตาราง ข.49 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Hardness ของเอ็กซ์ทราเคตถั่วแดงผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.8711							
R Square	0.7589							
Adjusted R Square	0.7413							
Standard Error	0.0134							
Observations	60							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	4	0.0312	0.0078	43.2688	2.25E-16			
Residual	55	0.0099	0.0002					
Total	59	0.0411						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-0.1321	0.0597	-2.2116	0.0312	-0.2518	-0.0124	-0.2518	-0.0124
X Variable 1	-0.0011	0.0014	-0.7907	0.4325	-0.0039	0.0017	-0.0039	0.0017
X Variable 2	0.0008	0.0001	6.7478	0.0000	0.0005	0.0010	0.0005	0.0010
X Variable 3	0.0000	0.0000	-7.0943	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	0.0001	0.0000	9.9628	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

ตาราง ข.50 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า crispness ของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วแดงผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.8930
R Square	0.7974
Adjusted R Square	0.7827
Standard Error	0.1955
Observations	60

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>Significance F</i>	
				<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	4	8.2745	2.0686	54.1174	1.96E-18
Residual	55	2.1024	0.0382		
Total	59	10.3768			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
		<i>Error</i>			<i>95%</i>	<i>95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercept	-3.5574	0.8700	-4.0889	0.0001	-5.3010	-1.8138	-5.3010	-1.8138
X Variable 1	-0.0069	0.0205	-0.3370	0.7374	-0.0480	0.0342	-0.0480	0.0342
X Variable 2	0.0095	0.0016	5.8523	0.0000	0.0063	0.0128	0.0063	0.0128
X Variable 3	0.0000	0.0000	-1.4454	0.1540	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000
X Variable 4	0.0003	0.0001	2.0116	0.0492	0.0000	0.0005	0.0000	0.0005

ตาราง ข.51 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า toughness ของเหล็กชุบทุรเคดถั่วแดงผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.9071							
R Square	0.8229							
Adjusted R Square	0.8100							
Standard Error	0.2720							
Observations	60.0000							
ANOVA								
				Significance				
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4.0000	18.8953	4.7238	63.8719	0.0000			
Residual	55.0000	4.0677	0.0740					
Total	59.0000	22.9630						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	7.9231	1.2102	6.5470	0.0000	5.4978	10.3483	5.4978	10.3483
X Variable 1	-0.0560	0.0285	-1.9646	0.0545	-0.1132	0.0011	-0.1132	0.0011
X Variable 2	-0.0126	0.0023	-5.5564	0.0000	-0.0171	-0.0080	-0.0171	-0.0080
X Variable 3	0.0000	0.0000	0.6851	0.4962	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0001
X Variable 4	0.0004	0.0002	2.1058	0.0398	0.0000	0.0008	0.0000	0.0008

ตาราง ข.52 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Hardness ของเอ็กซ์ทราคตถั่วคั่วผสมลูกเดี๋ยย

SUMMARY

OUTPUT

Regression Statistics								
Multiple R	0.6532							
R Square	0.4267							
Adjusted R Square	0.3850							
Standard Error	0.0118							
Observations	60.0000							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4.0000	0.0057	0.0014	10.2320	0.0000			
Residual	55.0000	0.0076	0.0001					
Total	59.0000	0.0133						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	-0.1124	0.0524	-2.1431	0.0365	-0.2174	-0.0073	-0.2174	-0.0073
X Variable 1	0.0063	0.0012	5.1169	0.0000	0.0038	0.0088	0.0038	0.0088
X Variable 2	0.0002	0.0001	1.6865	0.0974	0.0000	0.0004	0.0000	0.0004
X Variable 3	0.0000	0.0000	-2.9427	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	0.0000	0.0000	-4.3935	0.0001	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000

ตาราง ข.53 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า *crispness* ของเอ็กซ์ทราแคตถั่วคั่วผสมลูกเคี้ยว

SUMMARY

OUTPUT

Regression Statistics								
Multiple R	0.4504							
R Square	0.2029							
Adjusted R Square	0.1449							
Standard Error	0.0285							
Observations	60.0000							
ANOVA								
				Significance				
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4.0000	0.0113	0.0028	3.4995	0.0129			
Residual	55.0000	0.0446	0.0008					
Total	59.0000	0.0559						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	-0.3117	0.1267	-2.4600	0.0171	-0.5656	-0.0578	-0.5656	-0.0578
X Variable 1	0.0107	0.0030	3.5777	0.0007	0.0047	0.0167	0.0047	0.0167
X Variable 2	0.0006	0.0002	2.5656	0.0131	0.0001	0.0011	0.0001	0.0011
X Variable 3	0.0000	0.0000	-2.4122	0.0192	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	-0.0001	0.0000	-2.7159	0.0088	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000

ตาราง ข.54 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า toughness ของเหล็กทุเรศถั่วคำผสมลูกเดี๋ย

SUMMARY

OUTPUT

Regression Statistics								
R Square	0.0800							
Adjusted R Square	0.0131							
Standard Error	0.3717							
Observations	60.0000							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4.0000	0.6611	0.1653	1.1964	0.3228			
Residual	55.0000	7.5984	0.1382					
Total	59.0000	8.2596						
		Standard				Upper	Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	-0.5739	1.6540	-0.3470	0.7299	-3.8887	2.7408	-3.8887	2.7408
X Variable 1	0.0173	0.0390	0.4426	0.6598	-0.0609	0.0954	-0.0609	0.0954
X Variable 2	0.0043	0.0031	1.3879	0.1708	-0.0019	0.0105	-0.0019	0.0105
X Variable 3	-0.0001	0.0001	-1.3218	0.1917	-0.0002	0.0000	-0.0002	0.0000
X Variable 4	0.0003	0.0003	1.0052	0.3192	-0.0003	0.0008	-0.0003	0.0008

ตาราง ข.55 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Hardness ของเหล็กชุบโครเมียมด้วยวิธีชุบไฟฟ้า

SUMMARY

OUTPUT

Regression Statistics								
Multiple R	0.70647199							
R Square	0.499102673							
Adjusted R Square	0.462673777							
Standard Error	0.019824471							
Observations	60							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4	0.021538	0.005385	13.70073543	8.15E-08			
Residual	55	0.021616	0.000393					
Total	59	0.043154						
		Standard					Lower	Upper
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	95.0%	95.0%
Intercept	-	0.088219	-1.83884	0.071339965	-	0.01457427	-0.3390159	0.01457427
	0.162220816					0.339015899		
X Variable 1	0.009993805	0.002079	4.806544	1.23E-05	0.005826979	0.01416063	0.00582698	0.01416063
					-		-	
X Variable 2	0.000122868	0.000165	0.745227	0.459307634	0.000207545	0.00045328	0.00020755	0.00045328
X Variable 3	-7.22E-06	3.13E-06	-2.30486	0.024974006	-1.35E-05	-9.43E-07	-1.35E-05	-9.43E-07
X Variable 4	-5.92E-05	1.36E-05	-4.35903	5.77E-05	-8.64E-05	-3.20E-05	-8.64E-05	-3.20E-05

ตาราง ข.56 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า crispness ของเอ็กซ์ทราคต์ถั่วขาวผสมลูกเคียว

SUMMARY

OUTPUT

Regression Statistics								
Multiple R	0.3839							
R Square	0.1474							
Adjusted R Square	0.0854							
Standard Error	0.0336							
Observations	60.0000							
ANOVA								
						Significance		
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4.0000	0.0107	0.0027	2.3770	0.0630			
Residual	55.0000	0.0621	0.0011					
Total	59.0000	0.0728						
	Coefficients	Standard	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper	Lower	Upper
		Error						
					95%		95.0%	95.0%
Intercept	-0.0973	0.1495	-0.6508	0.5179	-0.3969	0.2023	-0.3969	0.2023
X Variable 1	0.0048	0.0035	1.3742	0.1750	-0.0022	0.0119	-0.0022	0.0119
X Variable 2	0.0003	0.0003	1.1628	0.2499	-0.0002	0.0009	-0.0002	0.0009
X Variable 3	0.0000	0.0000	-1.5587	0.1248	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	0.0000	0.0000	-0.0218	0.9827	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตาราง ข.57 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า toughness ของเหล็กที่ชุบเคลือบด้วยขี้เถ้าผสมลูกเคียว

SUMMARY

OUTPUT

Regression Statistics								
Multiple R	0.3900							
R Square	0.1521							
Adjusted R Square	0.0905							
Standard Error	0.3138							
Observations	60.0000							
ANOVA								
				Significance				
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4.0000	0.9717	0.2429	2.4669	0.0554			
Residual	55.0000	5.4162	0.0985					
Total	59.0000	6.3880						
	Standard				Upper	Lower	Upper	
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	95%	95.0%	95.0%
Intercept	4.6696	1.3965	3.3439	0.0015	1.8711	7.4682	1.8711	7.4682
X Variable 1	-0.0888	0.0329	-2.6993	0.0092	-0.1548	-0.0229	-0.1548	-0.0229
X Variable 2	-0.0058	0.0026	-2.2348	0.0295	-0.0111	-0.0006	-0.0111	-0.0006
X Variable 3	0.0001	0.0000	2.0860	0.0416	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002
X Variable 4	0.0004	0.0002	1.8623	0.0679	0.0000	0.0008	0.0000	0.0008

ตาราง ข.58 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Hardness ของเหล็กชุบโครเมียมแข็งเคลือบเหล็กกล้า

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.7397							
R Square	0.5471							
Adjusted R Square	0.5142							
Standard Error	0.0499							
Observations	60.0000							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	4.0000	0.1652	0.0413	16.6119	0.0000			
Residual	55.0000	0.1368	0.0025					
Total	59.0000	0.3020						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.4638	0.2219	2.0900	0.0413	0.0191	0.9085	0.0191	0.9085
X Variable 1	-0.0002	0.0052	-0.0327	0.9740	-0.0107	0.0103	-0.0107	0.0103
X Variable 2	-0.0016	0.0004	-3.7818	0.0004	-0.0024	-0.0007	-0.0024	-0.0007
X Variable 3	0.0000	0.0000	4.1366	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	-0.0001	0.0000	-4.0675	0.0002	-0.0002	-0.0001	-0.0002	-0.0001

ตาราง ข.59 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า *crispness* ของเอ็กซ์ทราอุคเตดแก้วเหลืองผสมลูกเคียว

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics								
Multiple R	0.6003							
R Square	0.3603							
Adjusted R Square	0.3138							
Standard Error	0.0520							
Observations	60.0000							
ANOVA								
					Significance			
	df	SS	MS	F	F			
Regression	4.0000	0.0837	0.0209	7.7457	0.0001			
Residual	55.0000	0.1486	0.0027					
Total	59.0000	0.2323						
	Coefficients	Standard	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper	Lower	Upper
		Error				95%	95.0%	95.0%
Intercept	0.2943	0.2313	1.2724	0.2086	-0.1692	0.7579	-0.1692	0.7579
X Variable 1	-0.0016	0.0055	-0.2948	0.7693	-0.0125	0.0093	-0.0125	0.0093
X Variable 2	-0.0009	0.0004	-2.0970	0.0406	-0.0018	0.0000	-0.0018	0.0000
X Variable 3	0.0000	0.0000	2.6526	0.0104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X Variable 4	-0.0001	0.0000	-2.1277	0.0379	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000

ตาราง ข.60 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติของค่า toughness ของเอ็กซ์ทรูเกตตัวเหลืองผสมลูกเคียว

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.4538							
R Square	0.2060							
Adjusted R Square	0.1482							
Standard Error	0.4751							
Observations	60.0000							
ANOVA								
					<i>Significance</i>			
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>			
Regression	4.0000	3.2198	0.8050	3.5664	0.0117			
Residual	55.0000	12.4139	0.2257					
Total	59.0000	15.6337						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
		<i>Error</i>			<i>95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>	
Intercept	2.9530	2.1141	1.3968	0.1681	-1.2839	7.1898	-1.2839	7.1898
X Variable 1	-0.0348	0.0498	-0.6976	0.4884	-0.1346	0.0651	-0.1346	0.0651
X Variable 2	-0.0065	0.0040	-1.6413	0.1064	-0.0144	0.0014	-0.0144	0.0014
X Variable 3	0.0002	0.0001	2.4601	0.0171	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003
X Variable 4	-0.0006	0.0003	-1.7790	0.0808	-0.0012	0.0001	-0.0012	0.0001

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
(ภาษาอังกฤษ) Ms. Maradee Phongpipatpong
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3100601812569
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
4. สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 02-739-2349 ต่อ 21
โทรสาร 02-739-2349 ต่อ 13
E-mail kpmarade@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2526	วศ.บ.	วิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2535	M.Eng	Food Engineering	AIT
2545	Ph.D.	Chemical Engineering	U. of Waterloo (CANADA)

6. สาขาที่ชำนาญ

Unit Operations in Food Processes
Food Extrusion and Food Dehydration
Process System Engineering (Control and Optimization)

7. ทูณปัจจุบันที่ได้รับ

1. โครงการ “เทคนิคการผลิตผงน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีเอนแคปซูเลชั่น” ทุนคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สจล. ปี 2552 (หัวหน้าโครงการ)
2. โครงการ “การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากข้าวกล้องงอกด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบ
เอ็กซ์ทรูชั่น” ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2552 (ผู้ร่วมโครงการ)

3. โครงการ “การสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น โดยใช้คลื่นอุลตราโซนิก และการผลิตแอนโทไซยานินผงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย” ทุน สวพ. ประจำปีงบประมาณ 2552 (ผู้ร่วมโครงการ)

9. ประสบการณ์ผลงานวิจัย

- โครงการ “การสกัดสารสำคัญจากส้มแขกด้วยคลื่นอุลตราโซนิก” ทุนวิจัย สกว. - IRPUS 2551 (หัวหน้าโครงการ)
- โครงการ “ผลิตอาหารเสริมสำหรับเด็กและทารกที่ได้มาตรฐานในระดับอุตสาหกรรม : ระยะที่ 1 (ปี 2551) การประยุกต์ใช้ Linear programming ในการพัฒนาสูตรอาหารเสริมสำหรับเด็กและทารกให้ได้มาตรฐานทางโภชนาการ” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) (ผู้ร่วมโครงการ)
- มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ เกษณี มานะโรจน์กิจ จารุรัตน์ จุฑะเสน ชัยวัฒน์ กุสทิทธิผล และ กรณา วงษ์กระจ่าง (2552) “ผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิความร้อนต่อการทำแห้งและคุณภาพของผักหวานผง” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10, มหาวิทยาลัยสุรนารี นครสวรรค์
- มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และจุฬาลักษณ์ จารุณูช (2551) “ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปลายข้าวต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 จ.เชียงใหม่ ทุนสกว. (หัวหน้าโครงการ)
- สันติ หิรัญอร และ มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ (2551) “ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดที่ได้จากปลายข้าวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว” วิศวกรรม ลาดกระบัง ปีที่ 25, หน้า 31-36
- มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และมธุรดา จิโนรส (2549) “เครื่องลวก/ทอดอาหารแบบอุลตราโซนิก” รายงานการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (หัวหน้าโครงการ)
- Maradee Phongpipatpong, Jariya Taiwprateep, Nampung Akesrisakul, Pratyasainium “Study on Ultrasonic Frying” (2548) การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ. นครราชสีมา
- มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ “การวิเคราะห์กระบวนการผลิตแบบบูรณาการ” (2547) การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

- มาฤดี ผ่องพัฒน์พงศ์ (2546) “การผลิตเครื่องดื่มผงจากปลายข้าวกล้อง” รายงานการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
- Maradee Phongpipatpong, Krisana Heng, Kedsiri Pomchengpin, Pinnugarn Kosolarn, (2008) “Influence of Inlet Condition on Longan Drink Concentration in a Falling Film Evaporator, the 18th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference, October 20-21, 2008, Pattaya.
- Phongpipatpong, M., Patamarajvichian, P., Namkhot, S. and Amornviriyakul, S. (2006) “Optimization of Spray Drying Condition for *Longan* Drink Powder Using Response Surface Methodology” International Workshop on Tropical and Sub-Tropical Fruit and Vegetables, Chiangmai
- Phongpipatpong, M. and Douglas, P. (2003) “Synthesis of Rice Processing Plants I Development of Simplified Models”, *Drying Technology*, 21 (9), 1595-1610
- Phongpipatpong, M. and Douglas, P. (2003) “Synthesis of Rice Processing Plants II MINLP Optimization”, *Drying Technology*, 21 (9), 1611-1630
- Phongpipatpong, M. and Douglas, P. (2003) “Synthesis of Rice Processing Plants III Sensitivity Analysis”, *Drying Technology*, 21 (9), 1631-1644

2. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) น.ส.ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์
(English) (Miss. Duangchan Hengswadi)
2. รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี) 3840 0763
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย ชำนาญการ ระดับ 8
7. หน่วยงานที่สังกัด / ที่อยู่/โทรศัพท์

หน่วยทดสอบทางชีวภาพ ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กทม. 10900

Phone: 0-2942-8629-35 ext.906

Fax: 0-2940-6455

E-mail ifrduh@ku.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปี ค.ศ.	ระดับปริญญา	ชื่อปริญญา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
1979	ตรี	วท.บ	ชีววิทยา	ม.รามคำแหง	ไทย
1987	โท	M.Sc.	Applied Nutrition	U of Indonesia	Indonesia

Indonesia

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญ

- การทดสอบความปลอดภัยของอาหารในสัตว์ทดลอง
- การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารโดยใช้สัตว์ทดลอง
- การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอาหาร

9. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายใน/ภายนอกประเทศ

8.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย -

9.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

1. Study of the Norwegian Fish Flour Consumption on Health Aspects by Using Rat

Bioassay, 34 : 1999,p.635 (ทุนสนับสนุนจากประเทศนอร์เวย์)

2. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของขนมไทยด้วยข้าวกล้อง เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม, ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์ และคณะ หนังสือประกอบการสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่องการใช้ประโยชน์

จากข้าวในการสร้างมูลค่าเพิ่ม จัดโดยกองโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 1 กันยายน 2547 ณ. โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ กรุงเทพมหานคร

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. การศึกษาความปลอดภัยของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina* ตากแห้ง ซึ่งเลี้ยงจากน้ำดีเกลือเข้มข้น (น้ำทิ้งจากนาเกลือ) (2539), ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์ ผ่องศรี จิตตุนนท์ เยาวดี คุปตะพันธ์ สมบูรณ์ ผู้พัฒนา จรรยา พุกกะเวส จักรพงษ์ ลิ้มปนุสรณ์ ประไพภัทร คลังทรัพย์, วารสารอาหารปีที่ 26 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2539 หน้า 45-53 (หัวหน้าโครงการ)

2. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพันธุ์ไทยที่ผลิตโดยวิธีพ่นแห้ง, ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์ ผ่องศรี จิตตุนนท์ เยาวดี คุปตะพันธ์ เจียมจิตต์ บุญสม สุชาติ อิงธรรมจิตร, วารสารอาหาร ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 ก.ค.-ก.ย. 2539 หน้า 172-181 (หัวหน้าโครงการ)

3. **Utilization of Glandless Cottonseed Flour in Snack Food, Duangchan Hengsawadi, Pongsri Jittanoon, Wanpen Mesomya, Somchai Prabhavat, Yaovadee Cuptapun and Prapipat Klungsub, in 16th International Congress of Nutrition and Health Aspects(Abstract), 27 July-1 August 1997, Montreal, Canada p.353 (หัวหน้าโครงการ)**

4. **Study of the Norwegian Fish Flour Consumption on Health Aspects by Using Rat Bioassay, Duangchan Hengsawadi, Pongsri Jittanoon, Yaovadee Cuptapun, Wanpen Mesomya, and Chaanya Pukkavesa, Scadinavian Journal of Nutrition :34 :1999, p.63 (หัวหน้าโครงการ)**

5. **Nutrition Evaluation of Green Catfish, Wanpen Mesomya*, Yaovadee Cuptapun, Pongsri Jittanoon, Duangchan Hengsawadi, Sureepun Boonvisut, Phuttthira Huttayanon and Wasan Sriwatana, The Kasetsart Journal (Natural Science) V.36 No.1 Jan-Mar. 2002 (ผู้ร่วมโครงการ)**

6. **ผลของน้ำมันปลาจากปลาป่นนอร์เวย์ต่อระดับไขมันในเลือดหนูทดลอง , วันเพ็ญ มีสมญา* ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, เยาวดี คุปตะพันธ์, ผ่องศรี จิตตุนนท์ และ วิทยาภรณ์ ณ.ถलग วารสารเกษตรนเรศวร ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 ตุลาคม 2546 – กันยายน 2547 หน้า 117 - 129 (ผู้ร่วมโครงการ)**

7. การวิจัยและพัฒนาคุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ จากสมุนไพรไทย เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม,ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, ลัดดา วัฒนศิริธรรม, มณฑนา ร่วมรักษ์, เย็นใจ จิตะฐาน สมจิต อ่อนหม, ชมดาว สิกขะมณฑล, และ พิสมัย ศรีชาเยศ : ทุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2548 (หัวหน้าโครงการ)

8. การวิจัยและพัฒนาคุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ จากสมุนไพรไทยเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม: ชูปกิ่งสำเร็จรูปจากสมุนไพรไทย และธัญพืช; ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, พัชรี้ ตั้งตระกูล, เย็นใจ จิตะฐาน, สมจิต อ่อนหม, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ชมดาว สิกขะมณฑล, พิสมัย ศรีชาเยศ, เยาวดี คุปตะพันธ์: ทุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2549 (หัวหน้าโครงการ)

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

1.ชื่อโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ “เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกผสมธัญชาติชนิดผง”

แหล่งทุน บริษัทอินโนฟูดส์ (ประเทศไทย) จำกัด

สถานภาพในการทำวิจัย (หัวหน้าโครงการ) 70

2.ชื่อโครงการ การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมจากผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเสริมแคลเซียมในหนู

ทดลอง

แหล่งทุน สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานภาพในการทำวิจัย (ผู้ร่วมโครงการ) 40%

3. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-สกุล นางสาวกรรณา วงษ์กระจ่าง (Ms. Karuna WongKrajang)
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3100200205050
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย ชำนาญการ ระดับ 8
4. สถานที่ทำงาน ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตู้ ปณ. 1043 ปทฝ. เกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10903 โทรศัพท์: 0-2942-8629-35 ต่อ 507 โทรสาร: 0-2940-6455 E-mail : ifrknw@ku.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2526	วท.บ.	เคมี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2535	วท.ม.	เทคโนโลยีทางอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. สาขาที่มีความชำนาญ : การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารและ การวิเคราะห์คุณภาพอาหารทางเคมี
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
- การศึกษาปริมาณวิตามินซีในน้ำผลไม้ (ผู้ร่วมโครงการ)
 - การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของพาสต์ฟูดประเภทต่าง ๆ (ผู้ร่วมโครงการ)
 - การปรับปรุงเทคนิคในกระบวนการผลิตผลไม้แห้ง (ผู้ร่วมโครงการ)
 - การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปชนิดที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูง (ผู้ร่วมโครงการ)
 - ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในอาหารเนื้อและอีสาน (ผู้ร่วมโครงการ)
 - การพัฒนาสินค้าสหกรณ์สู่มาตรฐาน (ผู้ร่วมโครงการ)
 - การพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มด้วยเทคโนโลยีเมมเบรน (ผู้ร่วมโครงการ)
 - Study on Chemical and NIR Measurement of Food Component for Quality Evaluation (หัวหน้าโครงการ)
 - การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณฟีนอลทั้งหมด และสารฟลาโวนอยด์บางชนิดของผลไม้เขตหนาวนำเข้าเพื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ผลิตโดยมูลนิธิโครงการหลวง(หัวหน้าโครงการ)
 - ปริมาณและองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์จากเห็ดที่กินได้ (ผู้ร่วมโครงการ)
 - การพัฒนาการใช้ประโยชน์และการแปรรูปเนื้อมะพร้าว น้ำหอมและน้ำตาลมะพร้าวเพื่อเพิ่มมูลค่า (หัวหน้าโครงการ)
 - ผลของสภาวะการผลิตต่อปริมาณการสูญเสียของสารไอโซฟลาโวนระหว่างกระบวนการทำเต้าหู้ (หัวหน้าโครงการ)

งานวิจัยที่กำลังทำ

หัวหน้าโครงการ การสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น โดยใช้คลื่นอุลตราโซนิก และ

การผลิตแอนโทไซยานินผงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

แหล่งทุน สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ

2552

สถานการณ์ในการทำวิจัย : ดำเนินการ 20%

ผลงานตีพิมพ์

Karuna Wongkrajang and Akemi Yasui 1998. Application of linked method for determination of dietary fiber and digestible carbohydrates to cereals and cereal products. Poster presented at the 4th Asia Pacific Food Analysis Conference on 16-19 November 1998. Chiang Mai, Thailand.

Varayanond W., Naohara J., **Wongkrajang K.** and Manabe M. 1999. Pectin Contents in Fruit of Six Thai Mango Cultivars. *Thai J. Agric.* 32 (3) : 401-407.

Varayanond W., Naohara J., **Wongkrajang K.** and Manabe M. 1999. Changes in Pectin content and Average Molecular Weight of Pectin during Maturation of the Mango “Kaew”. *Food Sci. Technol. Res.* 5(4), 362-364.

Varayanond W. and **Wongkrajang K.** 2000. Effects of Some Parameters on The Osmotic Dehydration of Mango cv. Kaew. *Thai J. Agric.* 33 (3-4) : 123-135.

Karuna Wongkrajang, Ladda Wattanasiritham, Chomdao Sikkhamondhol, and Duanchan Hengsawadi. Comparison of Phenolic contents and Minerals in Imported peaches and locally peach grown in the highland of Northern Thailand In CD proceedings of the 31st Congress on Science and Technology of Thailand. on 18-20 October 2005. Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, Thailand.

Nednapis Vatanasuchart, Boonma Niyomvit and **Karuna Wongkrajang.** 2009. Resistant starch Contents and the *in Vitro* Starch digestibility of Thai Starchy Foods. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 43: 178-186.

4. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายอำนาจ กุตะกู (Mr. Amnaj Cutacoo)
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3301100182413
3. ตำแหน่งปัจจุบัน เจ้าหน้าที่วิจัย
4. สถานที่ทำงาน สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 02-739-2349
โทรสาร 02-739-2349 ต่อ 13
E-mail kkamnaj@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2540	วท.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	ส.ราชภัฏราชนครินทร์

6. สาขาที่มีความชำนาญ: การควบคุมการทำงานของเครื่องแปรรูปอาหาร
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - 7.1 ศึกษาการออกแบบเครื่องปอกทุเรียน (ผู้ร่วมโครงการ)
 - 7.2 ศึกษาการออกแบบชุดเครื่องมือแปรรูปพริกไทย (ผู้ร่วมโครงการ)
 - 7.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตแบบอิเล็กทรอนิกส์จากปลายข้าว

5. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ – สกุล นางสาวชมดาว สิกขะมณฑล (Miss Chomdao Sikkhamondhol)
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3120101465614
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย
4. สถานที่ทำงาน สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถ. พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์: 0-2942-8629-35
โทรสาร: 0-2940-6455
E-mail: ifrcds@ku.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบัน	ประเทศ
2532	ปริญญาตรี	วท.บ.	คหกรรมศาสตร์	ม.ราชภัฏสวนดุสิต	ไทย
2540	ปริญญาโท	วท.ม.	พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

6. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (หัวหน้าโครงการ)

- การทดสอบยอมรับผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์น้ำปลาหวานที่จำหน่ายในประเทศ
- การพัฒนากรรมวิธีการผลิตคุกกี้เห็ดและการทดสอบการยอมรับ
- การพัฒนาความสามารถของบุคลากรในการทดสอบประสาทสัมผัส
- ศึกษาพฤติกรรมและความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์โครงการหลวง : ในเขตกรุงเทพฯ

- ปริมาณที่เหมาะสมของขมิ้นชันพันธุ์ราชบุรีในขนมปัง
งานวิจัยที่กำลังทำ

หัวหน้าโครงการ การศึกษาสูตรที่เหมาะสมสำหรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของ
บิสกิต สมุนไพรที่ไม่มีกลูเตน

แหล่งทุน สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2552

สถานภาพในการทำวิจัย : ดำเนินการ 40 %