บทที่ 4

ผลของการวิจัย

ในการทดลองขั้นต้น ได้ทำการศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำนมงาขาวจากเมล็ดงาขาวและกากงาขาว (ซึ่งเป็นเมล็ดงาขาวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว) โดยศึกษาผลของการบดเมล็ดงาด้วยเครื่องปั่นผสมต่อปริมาณผลผลิตของเต้าหู้งาขาว พบว่า การบดให้ละเอียดก่อนที่จะนำไปปั่นผสมกับน้ำสะอาด จะได้เต้าหู้งาขาวที่มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าการปั่นผสมกับน้ำสะอาดทั้งเมล็ด ทั้งนี้เนื่องจากการบดให้ละเอียดเป็นการทำลายโครงสร้างของเซลล์และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสกัดดีขึ้น

เมื่อทำการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อเมล็ดงาขาวและกากงาขาวที่เหมาะสม พบว่า การใช้อัตราส่วนน้ำต่อเมล็ดงาขาวเท่ากับ 4 ต่อ 1 (โดยน้ำหนัก) จะได้เต้าหู้งาขาวที่มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้อัตราส่วนเท่ากับ 6 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 1 (โดยน้ำหนัก) ส่วนการใช้กากงาขาว พบว่า การใช้อัตราส่วนน้ำต่อกากงาขาวเท่ากับ 6 ต่อ 1 (โดยน้ำหนัก) จะได้เต้าหู้งาขาวที่มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้อัตราส่วนเท่ากับ 4 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 1 (โดยน้ำหนัก)

การที่ปริมาณผลผลิตของเต้าหู้งาขาวลดลง เมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อเมล็ดงาขาวหรือกากงาขาวเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลจากการที่อัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนมงาขาวลดลง จึงมีปริมาณโปรตีนที่เกิดการตกตะกอนน้อยลง (Liu, 1999) แต่การที่ปริมาณผลผลิตลดลง เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อกากงาขาวเท่ากับ 4 ต่อ 1 นั้นเป็นผลจากการที่ความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนมงาขาวสูงเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cai และ Baik (2001) ที่พบว่า หากไม่ใช้สารตกตะกอน การใช้น้ำนมถั่วชิกพีที่มีความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 1.88 จะไม่สามารถเกิดลักษณะของเคิร์ดเต้าหู้ได้ และการใช้น้ำนมถั่วชิกพีที่มีความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 2.51 จะได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 3.77 และการทดลองของ Cai และคณะ (2001) ที่พบว่า การเตรียมเต้าหู้ถั่วชิกพีโดยใช้น้ำนมถั่วชิกพีที่มีความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 1 จะได้ปริมาณผลผลิตต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการใช้ความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 2 – 4 ไม่มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และเมื่อใช้ความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 9 จะไม่สามารถเกิดลักษณะของเคิร์ดเต้าหู้ได้ นั่นคือ หากใช้ความเข้มข้นของโปรตีนสูงหรือต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม จะได้ปริมาณผลผลิตลดลงหรืออาจไม่สามารถเกิดลักษณะของเคิร์ดเต้าหู้ได้

ส่วนการที่กากงาขาวใช้อัตราส่วนน้ำต่อกากงาขาวที่เหมาะสมสูงกว่าเมล็ดงาขาว เป็นเพราะกากงาขาวผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันออกไป ทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น คือมีร้อยละ 40.10 ± 1.97 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งสูงกว่าเมล็ดงาขาวที่มีโปรตีนเพียงร้อยละ 16.84 (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542) จึงส่งผลให้น้ำนมงาขาวที่เตรียมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อกากงาขาวเป็น 4 ต่อ 1 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดหรือความเข้มข้นของโปรตีนสูงนั่นเอง

นอกจากนี้เต้าหู้งาขาวที่ได้จากเมล็ดงาขาวจะมีลักษณะมัน ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ ทั้งนี้เพราะเมล็ดงาขาวมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 51.26 (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542) ซึ่งสูงกว่ากากงาขาวที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 29.59 ± 0.16 (ตารางที่ 4.1) ประกอบกับกากงาขาวเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันงา จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อเพิ่มมูลค่า ดังนั้นจึงเลือกใช้กากงาขาวในการเตรียมน้ำนมงาขาว โดยอัตราส่วนน้ำต่อกากงาขาวที่ใช้ คือ 6 ต่อ 1 (โดยน้ำหนัก)

สำหรับการศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำนมลูกเดือยและน้ำนมข้าวโพด พบว่า ไม่สามารถเตรียมเต้าหู้จากน้ำนมลูกเดือยหรือน้ำนมข้าวโพดได้ อาจเนื่องจากลูกเดือยและข้าวโพดมีโปรตีนเพียงร้อยละ 10.76 ± 0.01 และ 7.70 ± 0.02 (โดยน้ำหนักสด) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งต่ำกว่าปริมาณโปรตีนในเมล็ดพืชชนิดอื่นๆ ที่สามารถใช้ในการเตรียมเต้าหู้ได้ อันได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วลันเตา ถั่วชิกพี ถั่วเลนทิล ฟาวาบีน และกระเจี๊ยบเขียว เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าร้อยละ 16 ทำให้เมื่อนำลูกเดือยและข้าวโพดมาปั่นผสมกับน้ำ จึงมีความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนมลูกเดือยและน้ำนมข้าวโพดต่ำเกินไป จึงไม่สามารถเกิดลักษณะของเคิร์ดเต้าหู้ได้ ทั้งนี้การใช้อัตราส่วนน้ำต่อลูกเดือยหรือข้าวโพดเท่ากับ 4 ต่อ 1 (โดยน้ำหนัก) มีความเหมาะสมในการเตรียมน้ำนมลูกเดือยหรือน้ำนมข้าวโพดมากที่สุด เนื่องจากเมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชแล้วไม่เกิดลักษณะที่ข้นหนืด ทั้งนี้ลักษณะข้นหนืดดังกล่าวน่าจะเกิดจากการเจลาติไนเซชั่น (gelatinization) ของแป้งที่มีอยู่มากในลูกเดือยและข้าวโพด

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ พบว่า กากงาขาว ลูกเดือย ข้าวโพด มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า ดังตารางที่ 4.1 กล่าวคือ กากงาขาวมีองค์ประกอบหลักเป็นโปรตีนและไขมัน ส่วนลูกเดือยและข้าวโพดมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนและเถ้า พบว่า กากงาขาวมีปริมาณโปรตีนและเถ้าสูงที่สุด รองลงมาเป็นลูกเดือย ส่วนข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนและเถ้าต่ำที่สุด โดยกากงาขาวมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าลูกเดือยและข้าวโพด 3.73 และ 5.21 เท่า ตามลำดับ และกากงาขาวมีปริมาณเถ้าสูงกว่าลูกเดือยและข้าวโพด 3.69 และ 4.66 เท่า ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณไขมันและเส้นใย พบว่า กากงาขาวมีปริมาณไขมันและเส้นใยสูงที่สุด รองลงมาเป็นข้าวโพด ส่วนลูกเดือยมีปริมาณไขมันและเส้นใยต่ำที่สุด โดยกากงาขาวมีปริมาณไขมันสูงกว่าลูกเดือยและข้าวโพด 9.13 และ 4.75 เท่า ตามลำดับ และกากงาขาวมีปริมาณเส้นใยสูงกว่าลูกเดือยและข้าวโพด 3.49 และ 4.01 เท่า ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น พบว่า ข้าวโพดมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด รองลงมาเป็นลูกเดือย ส่วนกากงาขาวมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด โดยลูกเดือยและข้าวโพดมีปริมาณความชื้นสูงกว่ากากงาขาว 1.68 และ 2.03 เท่า ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า ลูกเดือยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด รองลงมาเป็นข้าวโพด ส่วนกากงาขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด โดยลูกเดือยและข้าวโพดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ากากงาขาว 4.91 และ 4.72 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนักสด)	กากงาขาว	ลูกเดือย	ข้าวโพด
ความชื้น	6.69 ± 0.01	11.22 ± 0.05	13.61 ± 0.01
โปรตีน	40.10 ± 1.97	10.76 ± 0.01	7.70 ± 0.02
ไขมัน	29.59 ± 0.16	3.24 ± 0.35	6.32 ± 0.13
คาร์โบไฮเดรต	14.91 ± 1.47	73.26 ± 0.24	70.40 ± 0.10
เส้นใย	3.41 ± 0.15	0.90 ± 0.01	0.85 ± 0.06
เถ้า	5.31 ± 0.18	1.44 ± 0.08	1.14 ± 0.06

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบ

ในการทดลองขั้นต้น ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณกากงาขาวที่มีต่อการเตรียมเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า การลดปริมาณกากงาขาวจะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีลักษณะนิ่มขึ้นและมีปริมาณผลผลิตที่ต่ำลง ซึ่งปริมาณกากงาขาวขั้นต่ำ

ที่สามารถเกิดลักษณะของเคิร์ดเต้าหู้ได้ คือ การใช้กากงาขาวร้อยละ 60 ผสมกับลูกเดือยหรือข้าวโพดร้อยละ 40 (โดยน้ำหนัก) โดยน้ำนมผสมที่มีปริมาณกากงาขาวร้อยละ 60 – 100 (โดยน้ำหนัก) จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 4.01 – 5.09 (ตารางที่ 4.2) สอดคล้องกับการทดลองของ Cai และ Baik (2001) ที่พบว่า สามารถเตรียมเต้าหู้ถั่วชิกพีได้โดยไม่ต้องใช้สารตกตะกอนจากน้ำนมถั่วชิกพีที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 4.90 – 7.35 แต่ถ้าใช้น้ำนมถั่วชิกพีที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3.68 จะไม่เกิดลักษณะของเคิร์ดเต้าหู้ ดังนั้นจึงได้กำหนดเงื่อนไขในการแปรอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบไว้ว่าจะต้องมีปริมาณกากงาขาวไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 (โดยน้ำหนัก)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม ปริมาณผลผลิตและความชื้นของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดต่างกัน

กากงาขาว : ลูกเดือย : ข้าวโพด (โดยน้ำหนัก)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม (%)	ค่าทางคุณภาพของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช	
		ปริมาณผลผลิต (%)	ปริมาณความชื้น [ns] (% โดยน้ำหนักสด)
100 : 0 : 0	5.09 ± 0.01 [a]	99.01 ± 0.62 [a]	72.14 ± 1.55
80 : 20 : 0	4.49 ± 0.02 [b]	84.06 ± 0.29 [b]	70.93 ± 2.27
80 : 0 : 20	4.37 ± 0.01 [c]	77.70 ± 0.88 [c]	70.85 ± 3.04
74 : 13 : 13	4.25 ± 0.05 [d]	76.00 ± 1.12 [d]	71.48 ± 2.49
60 : 40 : 0	4.12 ± 0.01 [e]	64.64 ± 1.02 [e]	71.86 ± 2.33
60 : 0 : 40	4.06 ± 0.01 [f]	59.54 ± 1.71 [f]	72.44 ± 1.67
60 : 20 : 20	4.01 ± 0.02 [g]	62.12 ± 0.88 [g]	71.26 ± 1.66

[a-g] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบทั้งสามชนิด ได้แก่ กากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด พบว่า อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ความยืดหยุ่น และคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และ

ความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม ปริมาณผลผลิต ความแข็งและความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.2 - 4.4)

สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม พบว่า เมื่อปริมาณกากงาขาวลดลงและปริมาณลูกเดือยหรือข้าวโพดเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสมจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เพราะการลดปริมาณกากงาขาวและเพิ่มปริมาณลูกเดือยหรือข้าวโพดเป็นการลดความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนมผสม เนื่องจากลูกเดือยและข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากากงาขาว จึงส่งผลให้น้ำนมผสมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง และพบว่า การใส่ข้าวโพดมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสมต่ำกว่าการใส่ลูกเดือยในปริมาณที่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าลูกเดือยนั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ทั้งลูกเดือยและข้าวโพดจะทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสมต่ำกว่าการใส่ลูกเดือยหรือข้าวโพดเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้อัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดเท่ากับ 100 : 0 : 0 (โดยน้ำหนัก) มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการใช้อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 20 : 20 (โดยน้ำหนัก) มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสมต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.2)

สำหรับปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า เมื่อปริมาณกากงาขาวลดลงและปริมาณลูกเดือยหรือข้าวโพดเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อันเป็นผลจากการที่ความเข้มข้นของโปรตีนหรือปริมาณของแข็งในน้ำนมผสมลดลง ทำให้ปริมาณโปรตีนที่สามารถเกิดการตะกอนได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cai และคณะ (2001) ที่พบว่า การเตรียมเต้าหู้ถั่วชิกพีโดยใช้น้ำนมถั่วชิกพีที่มีความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 1 จะได้ปริมาณผลผลิตต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่า การใส่ข้าวโพดมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตต่ำกว่าการใส่ลูกเดือยในปริมาณที่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าลูกเดือยนั่นเอง ทั้งนี้การใช้อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดเท่ากับ 100 : 0 : 0 (โดยน้ำหนัก) มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการใช้อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 0 : 40 (โดยน้ำหนัก) มีปริมาณผลผลิตต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.3 ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดต่างกัน

กากงาขาว : ลูกเดือย : ข้าวโพด (โดยน้ำหนัก)	ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น[ns]	ความสามารถในการเกาะกัน
100 : 0 : 0	361.63 ± 4.41 [a]	0.71 ± 0.13	0.46 ± 0.03 [c]
80 : 20 : 0	254.47 ± 21.23 [bc]	0.66 ± 0.03	0.49 ± 0.06 [bc]
80 : 0 : 20	260.43 ± 23.81 [b]	0.73 ± 0.03	0.51 ± 0.04 [abc]
74 : 13 : 13	250.63 ± 15.01 [bc]	0.68 ± 0.06	0.56 ± 0.09 [ab]
60 : 40 : 0	226.47 ± 12.81 [c]	0.73 ± 0.02	0.57 ± 0.02 [a]
60 : 0 : 40	227.63 ± 13.94 [c]	0.71 ± 0.03	0.48 ± 0.03 [c]
60 : 20 : 20	191.97 ± 15.03 [d]	0.71 ± 0.07	0.51 ± 0.02 [abc]

[a-c] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สำหรับความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า เมื่อปริมาณกากงาขาวลดลงและปริมาณลูกเดือยหรือข้าวโพดเพิ่มขึ้น เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชจะมีความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่า การใส่ทั้งลูกเดือยและข้าวโพดจะทำให้มีความแข็งต่ำกว่าการใส่ลูกเดือยหรือข้าวโพดเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อันเป็นผลจากการที่ความเข้มข้นของโปรตีนหรือปริมาณของแข็งในน้ำนมผสมลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cai และ Baik (2001) ที่พบว่า การใช้น้ำนมถั่วชิกพีที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 7.35 ได้เต้าหู้ถั่วชิกพีที่มีความแข็งสูงกว่าการใช้น้ำนมถั่วชิกพีที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 4.90 ทั้งนี้การใช้อัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดเท่ากับ 100 : 0 : 0 (โดยน้ำหนัก) จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความแข็งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการใช้อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 20 : 40 (โดยน้ำหนัก) เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จะมีความแข็งต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.3)

ส่วนความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีความสามารถในการเกาะกันอยู่ระหว่าง 0.46 – 0.58 โดยการใช้อัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดเท่ากับ 60 : 40 : 0 (โดยน้ำหนัก) จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความสามารถในการเกาะกันสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจาก

การใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบเท่ากับ 60 : 20 : 20, 74 : 13 : 13 และ 80 : 0 : 20 (โดยน้ำหนัก) อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.3)

เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 71.55 ± 2.24 (โดยน้ำหนักสด) ความยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.70 ± 0.05 และได้คะแนนความชอบอยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย คือ ได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.69 ± 1.61, 4.68 ± 1.84, 4.51 ± 1.96, 4.43 ± 1.95 และ 4.69 ± 1.93 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2 - 4.4) นั่นคือ ผู้ทดสอบชอบสีของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชเล็กน้อย แต่ไม่ชอบกลิ่นรส รสชาติและเนื้อสัมผัสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช

ตารางที่ 4.4 คะแนนความชอบของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดต่างกัน

กากงาขาว : ลูกเดือย : ข้าวโพด (โดยน้ำหนัก)	สี [ns]	กลิ่นรส [ns]	รสชาติ [ns]	เนื้อสัมผัส [ns]	ความชอบโดยรวม [ns]
100 : 0 : 0	5.62 ± 1.75	4.57 ± 1.87	4.33 ± 2.08	4.22 ± 2.02	4.50 ± 2.03
80 : 20 : 0	5.92 ± 1.58	4.92 ± 1.78	4.53 ± 1.91	4.78 ± 1.98	4.88 ± 1.99
80 : 0 : 20	5.50 ± 1.62	4.43 ± 1.84	4.42 ± 1.99	4.22 ± 1.97	4.38 ± 1.91
74 : 13 : 13	5.57 ± 1.64	4.64 ± 1.93	4.59 ± 1.95	4.43 ± 1.90	4.65 ± 1.88
60 : 40 : 0	5.90 ± 1.45	4.88 ± 1.65	4.73 ± 1.75	4.67 ± 1.91	5.07 ± 1.99
60 : 0 : 40	5.62 ± 1.74	4.43 ± 1.89	4.13 ± 2.17	4.18 ± 1.99	4.32 ± 1.99
60 : 20 : 20	6.00 ± 1.45	4.95 ± 1.66	4.65 ± 1.88	4.55 ± 1.99	5.15 ± 1.69

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

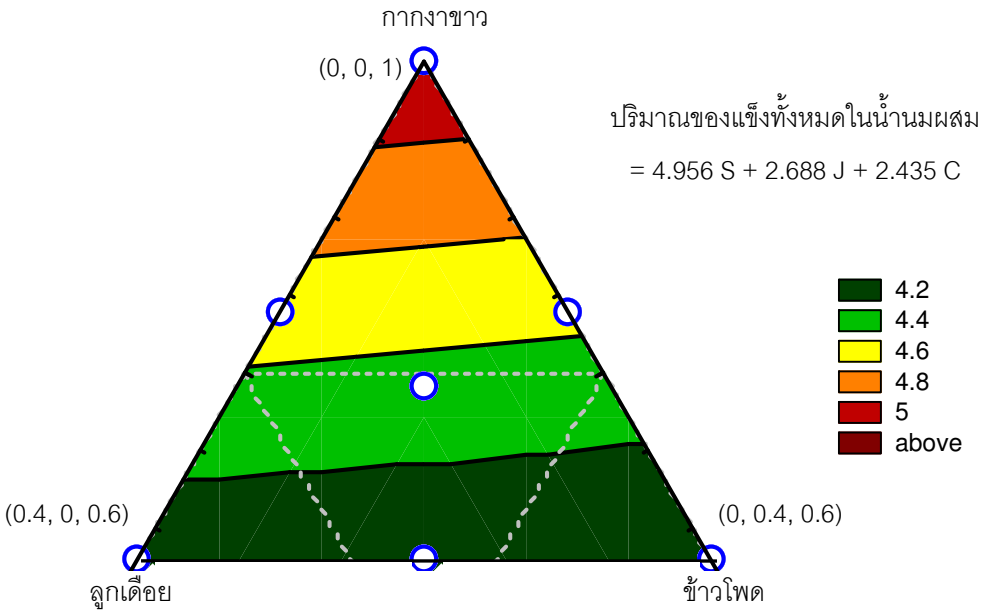
เมื่อนำข้อมูลค่าคุณภาพที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม ปริมาณผลผลิต ความแข็ง และความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบ mixture design โดยใช้สมการลำดับที่ 1 (linear) คือ $y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$ และสมการลำดับที่ 2 (quadratic) คือ $y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3$ โดยที่ y คือ ค่าคุณภาพต่างๆ ส่วน $x_1, x_2, \ldots, x_n$ คือ ปริมาณของตัวแปรชนิดวัตถุดิบ โดย x_1 แทนปริมาณกากงาขาว (S), x_2 แทนปริมาณลูกเดือย (J) และ x_3 แทนปริมาณข้าวโพด (C) แล้วเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับค่าคุณภาพหนึ่งๆ จากสมการลำดับที่ 1 หรือ 2 ที่มีค่า R square สูงกว่า ผลปรากฏว่าสมการถดถอยที่ได้ทั้งหมดมีค่า R square มากกว่า 0.6 จึงเหมาะที่จะวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองและได้สมการถดถอยที่เหมาะสมของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม ปริมาณผลผลิต ความแข็งและความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช ดังตารางที่ 4.5 โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดคือ ปริมาณของกากงาขาว

ตารางที่ 4.5 สมการถดถอยที่เหมาะสมของค่าทางคุณภาพต่างๆ เมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดต่างกัน

ค่าทางคุณภาพ	รูปแบบ	สมการถดถอย	R square	lack of fit
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	linear (first order)	Y = 4.956 S + 2.688 J + 2.435 C	1.000	ไม่มี
ปริมาณผลผลิต	linear	Y = 99.520 S + 15.102 J – 1.449 C	1.000	ไม่มี
ความแข็ง	quadratic (second order)	Y = 358.921 S + 395.484 J + 317.650 C – 530.739 JC – 625.074 JS – 490.491 CS	0.995	ไม่มี
ความสามารถในการเกาะกัน	quadratic	Y = 0.450 S + 0.533 J – 0.622 C + 0.489 JC + 0.341 JS + 1.880 CS	0.986	ไม่มี

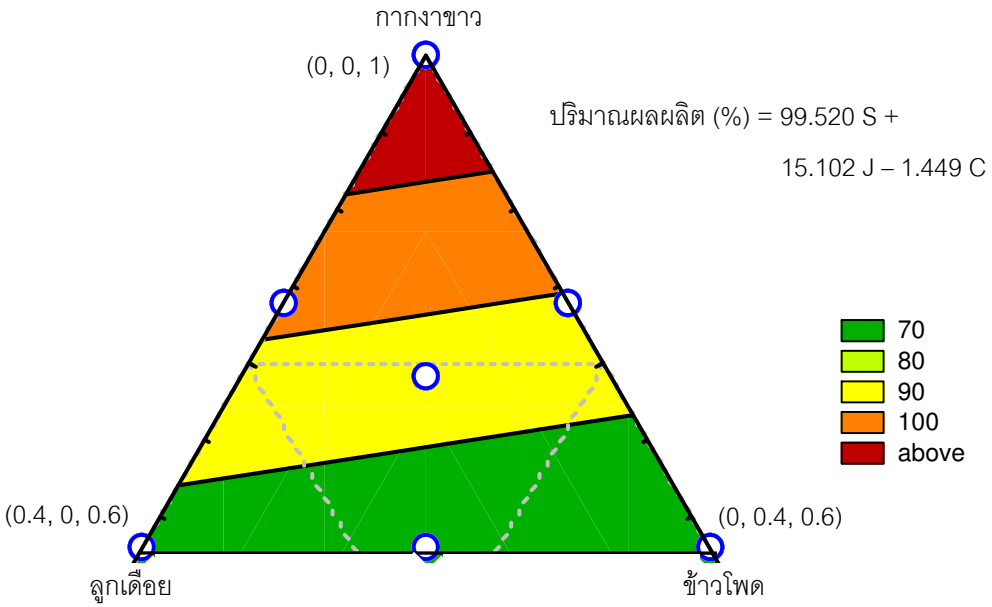
เมื่อ Y คือ ค่าทางคุณภาพ S คือ ปริมาณของกากงาขาว (0 – 1)
J คือ ปริมาณของลูกเดือย (0 – 1) และ C คือ ปริมาณของข้าวโพด (0 – 1)

เมื่อนำสมการถดถอยที่เหมาะสมข้างต้นไปสร้างกราฟ response surface ได้ดังภาพที่ 4.1 – 4.5 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณกากงาขาว พบว่า เมื่อปริมาณกากงาขาวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 60 เป็น 100 น้ำนมผสมจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น และเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จะมีปริมาณผลผลิตและความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการเกาะกันลดลง สำหรับอิทธิพลของปริมาณลูกเดือย พบว่า เมื่อปริมาณลูกเดือยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 40 น้ำนมผสมจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง และเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จะมีปริมาณผลผลิตและความแข็งลดลง แต่ความสามารถในการเกาะกันเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.1 – 4.4) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cai และคณะ (2001) ที่พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของโปรตีนลดลงความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้ถั่วซิกพีจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนอิทธิพลของปริมาณข้าวโพด พบว่า เมื่อปริมาณข้าวโพดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 40 น้ำนมผสมจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงและเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จะมีปริมาณผลผลิต ความแข็ง และความสามารถในการเกาะกันลดลง (ภาพที่ 4.1 – 4.4) แสดงว่า การใส่ข้าวโพดจะทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีความสามารถในการเกาะกันลดลง



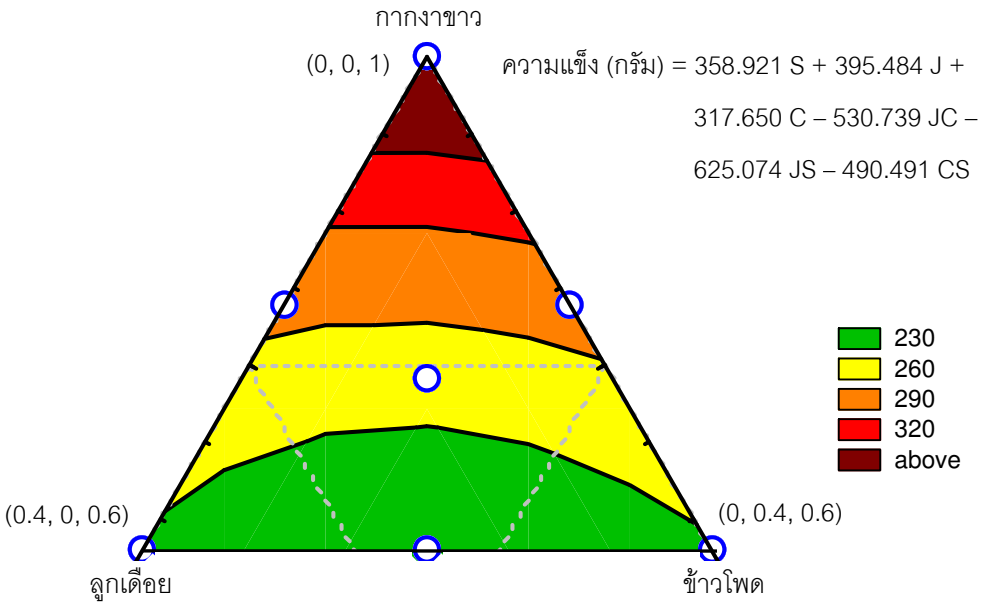
ภาพที่ 4.1 กราฟ response surface ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม

เมื่อ S, J และ C คือ ปริมาณของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด (0 – 1) ตามลำดับ



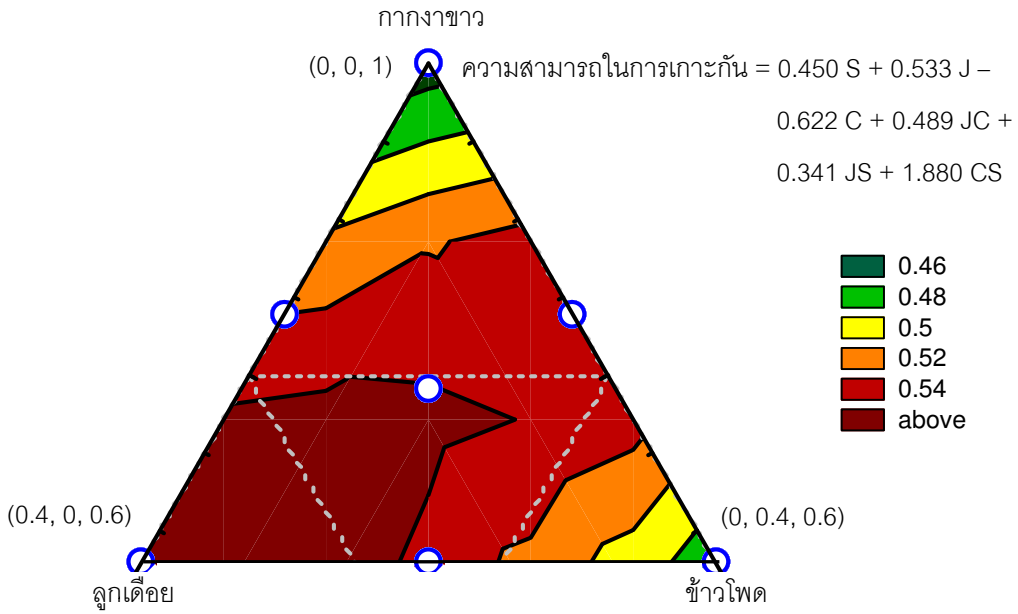
ภาพที่ 4.2 กราฟ response surface ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดกับปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช

เมื่อ S, J และ C คือ ปริมาณของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด (0 – 1) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 กราฟ response surface ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดกับความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช

เมื่อ S, J และ C คือ ปริมาณของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด (0 – 1) ตามลำดับ

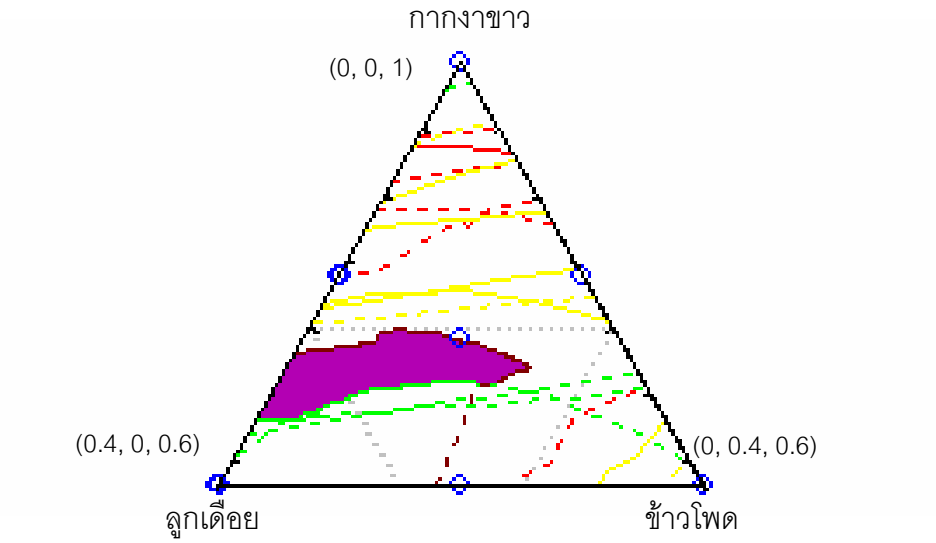


ภาพที่ 4.4 กราฟ response surface ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดกับความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อ S, J และ C คือ ปริมาณของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด (0 – 1) ตามลำดับ

ลักษณะของเต้าหู้ที่ดีควรมีปริมาณผลผลิต ความแข็ง และความสามารถในการเกาะกันที่สูง ส่วนลักษณะของน้ำนมผสมที่ดีควรมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง ซึ่งจะส่งผลทำให้เต้าหู้ที่ได้มีปริมาณผลผลิตสูง แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชในทุกด้าน พบว่า หากเลือกอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ทำให้ได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีปริมาณผลผลิตและความแข็งที่สูง จะมีความสามารถในการเกาะกันที่ต่ำ (ภาพที่ 4.1 – 4.4) แต่เนื่องจากในการศึกษาต่อไปจะมีการใช้สารตกตะกอน ซึ่งน่าจะช่วยให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีปริมาณผลผลิตและความแข็งมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงความสามารถในการเกาะกันเป็นสำคัญ

เมื่อนำกราฟ response surface ของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม ปริมาณผลผลิต ความแข็งและความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช (ภาพที่ 4.1 – 4.4) มาซ้อนทับกัน จะได้ช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบดังภาพที่ 4.5 ซึ่งคือ กากงาขาวร้อยละ 69 – 74 ลูกเดือยร้อยละ 12 – 31 และข้าวโพดร้อยละ 0 – 14 ทั้งนี้การเพิ่มกากงาขาวและข้าวโพดจะทำให้ได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความสามารถในการเกาะกันลดลง ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนที่มีปริมาณกากงาขาวและข้าวโพดต่ำที่สุด

มาทำการศึกษาต่อไป นั่นคือ อัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด เท่ากับ 69 : 31 : 0 (โดยน้ำหนัก)



ภาพที่ 4.5 ช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด

สมการถดถอยในตารางที่ 4.4 ทำนายว่า การใช้อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด เท่ากับ 69 : 31 : 0 (โดยน้ำหนัก) จะได้น้ำนมผสมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 4.25 และเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จะมีปริมาณผลผลิตร้อยละ 73.35 มีความแข็งเท่ากับ 205.55 กรัม และมีความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.55 และเมื่อนำอัตราส่วนของวัตถุดิบนี้ไปทำการทดลองซ้ำเพื่อการทวนสอบ พบว่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสมร้อยละ 4.20 ± 0.03 และเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณผลผลิตร้อยละ 74.17 ± 0.42 มีความแข็งเท่ากับ 209.55 ± 7.99 กรัม และมีความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.55 ± 0.04 ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าที่ทำนายด้วยสมการถดถอยอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 ผลการทวนสอบของอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด

ผลจาก	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมผสม (%) [ns]	ปริมาณผลผลิต (%)[ns]	ความแข็ง (กรัม) [ns]	ความสามารถในการเกาะกัน [ns]
การทวนสอบ	4.20 ± 0.03	74.17 ± 0.42	209.55 ± 7.99	0.55 ± 0.04
การทำนาย	4.25	73.35	205.55	0.55

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณผลผลิต ความแข็ง และคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.7 และ 4.8) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะกันและคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.9 และ 4.10)

สำหรับปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า เมื่ออุณหภูมิหรือเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น จะได้ปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลจากการที่โปรตีนเกิดการเสียสภาพด้วยความร้อนมีจำนวนมากขึ้น จึงเกิดการตกตะกอนได้มาก โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จะได้ปริมาณผลผลิตต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.7)

สำหรับความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น ความแข็งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความแข็งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จะได้ความแข็งต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 และ 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณผลผลิตและความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	ปริมาณผลผลิต (%)	ความแข็ง (กรัม)
85	5	66.34 ± 0.87 ^{h}	204.55 ± 30.73 ^{e}
85	10	68.08 ± 0.63 ^{g}	194.80 ± 25.74 ^{e}
85	15	70.95 ± 0.75 ^{f}	219.08 ± 32.27 ^{e}
90	5	72.67 ± 1.10 ^{e}	282.47 ± 31.90 ^{d}
90	10	77.98 ± 1.34 ^{d}	357.90 ± 51.26 ^{c}
90	15	80.27 ± 0.37 ^{c}	349.53 ± 62.65 ^{c}
95	5	80.40 ± 0.51 ^{c}	398.22 ± 24.95 ^{bc}
95	10	83.34 ± 0.91 ^{b}	435.95 ± 40.57 ^{b}
95	15	86.54 ± 1.48 ^{a}	494.78 ± 63.73 ^{a}

$^{a-h}$ อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ส่วนในด้านคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ระหว่าง 6.38 – 6.67, 5.67 – 6.12, 4.70 – 5.98 และ 5.12 – 6.45 ตามลำดับ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาที จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับการให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส นาน 5, 10 และ 15 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 5 และ 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 และ 10 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 และ 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 คะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
85	5	6.47 ± 0.75 ^{ab}	5.98 ± 1.24 ^{ab}	4.70 ± 1.12 ^{d}	5.35 ± 1.02 ^{de}
85	10	6.57 ± 0.74 ^{ab}	5.83 ± 1.33 ^{ab}	4.77 ± 1.13 ^{d}	5.53 ± 0.95 ^{cd}
85	15	6.50 ± 0.79 ^{ab}	5.70 ± 1.12 ^{b}	4.73 ± 1.39 ^{d}	5.48 ± 0.93 ^{cd}
90	5	6.62 ± 0.78 ^{ab}	5.62 ± 1.37 ^{b}	5.27 ± 1.41 ^{bc}	5.93 ± 1.27 ^{b}
90	10	6.38 ± 0.72 ^{b}	6.12 ± 1.26 ^{a}	5.98 ± 1.37 ^{a}	6.45 ± 1.05 ^{a}
90	15	6.50 ± 0.75 ^{ab}	5.95 ± 1.24 ^{ab}	5.58 ± 1.24 ^{b}	5.73 ± 0.90 ^{bc}
95	5	6.40 ± 0.74 ^{b}	5.78 ± 1.37 ^{ab}	4.98 ± 1.03 ^{cd}	5.48 ± 1.07 ^{cd}
95	10	6.38 ± 0.69 ^{b}	6.10 ± 1.04 ^{a}	4.97 ± 1.18 ^{cd}	5.55 ± 1.00 ^{cd}
95	15	6.67 ± 0.84 ^{a}	5.67 ± 1.17 ^{b}	4.70 ± 1.17 ^{d}	5.12 ± 1.04 ^{e}

$^{a-e}$ อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้พบว่า อุณหภูมิในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ความยืดหยุ่น และคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการเกาะกันจะลดลง ซึ่งเป็นเพราะการให้ความร้อนมากเกินไป หมู่ซัลไฟด์ในโปรตีนจะถูกออกซิไดส์ด้วยอากาศ ส่งผลให้การประสานกันในการจับก้อนของโปรตีนลดลง (Liu, 1999) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความสามารถในการเกาะกันต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะกัน และคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 69.53 ± 2.75 ความยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 ± 0.12 และได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นรสเท่ากับ 6.22 ± 0.76 (ตารางที่ 4.9 และ4.10)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้น ความยืดหยุ่น และความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน

การให้ความร้อน		ปริมาณความชื้น[ns] (% โดยน้ำหนักสด)	ความยืดหยุ่น[ns]	ความสามารถในการเกาะกัน
อุณหภูมิ (^{0}C)	85	69.87 ± 1.95	0.69 ± 0.05	0.57 ± 0.02 [a]
	90	69.12 ± 2.87	0.71 ± 0.10	0.56 ± 0.01 [a]
	95	69.59 ± 3.30	0.74 ± 0.19	0.48 ± 0.03 [b]
เวลา (นาที)	5	69.58 ± 2.41	0.72 ± 0.10	0.54 ± 0.04 [a]
	10	69.30 ± 3.46	0.70 ± 0.13	0.54 ± 0.05 [a]
	15	69.70 ± 2.31	0.74 ± 0.19	0.53 ± 0.06 [a]

[a.b] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.10 คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน

การให้ความร้อน		คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส[ns]
อุณหภูมิ (^{0}C)	85	6.29 ± 0.73
	90	6.19 ± 0.75
	95	6.18 ± 0.80
เวลา (นาที)	5	6.17 ± 0.82
	10	6.26 ± 0.73
	15	6.24 ± 0.74

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อนำข้อมูลค่าคุณภาพที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งได้แก่ ปริมาณผลผลิต ความแข็ง ความสามารถในการเกาะกัน และคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช มาวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองโดยใช้สมการลำดับที่ 1 คือ $y = c + b_1x_1 + b_2x_2$ และสมการลำดับที่ 2 คือ

$y = c + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$ โดยที่ y คือ ค่าคุณภาพต่างๆ c คือ ค่าคงที่ ส่วน $x_1, x_2, \ldots, x_n$ คือ ระดับของตัวแปร โดย x_1 แทน ระดับของอุณหภูมิในการให้ความร้อน (X) และ x_2 แทน ระดับของเวลาในการให้ความร้อน (Y) แล้วเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับค่าคุณภาพหนึ่งๆ จากสมการลำดับที่ 1 หรือ 2 ที่มีค่า R square สูงกว่า ผลปรากฏว่า สมการถดถอยที่ได้จากคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีค่า R square น้อยกว่า 0.6 จึงไม่เหมาะที่จะวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ส่วนสมการถดถอยที่ได้จากปริมาณผลผลิต ความแข็งและความสามารถในการเกาะกัน มีค่า R square มากกว่า 0.6 และได้สมการถดถอยที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สมการถดถอยที่เหมาะสมของค่าคุณภาพต่างๆ เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน

ค่าทางคุณภาพ	รูปแบบ	สมการถดถอย	R square	Lack of fit
ปริมาณผลผลิต	quadratic	$Z = 77.155 + 7.486\ X + 3.058\ Y + 0.382\ XY - 1.033\ X^2 - 0.269\ Y^2$	0.972	ไม่มี
ความแข็ง	quadratic	$Z = 333.152 + 118.419\ X + 29.694\ Y + 20.508\ XY - 5.403\ X^2 - 4.778\ Y^2$	0.842	ไม่มี
ความสามารถในการเกาะกัน	quadratic	$Z = 0.56 - 0.047\ X - 0.004\ Y - 0.01\ XY - 0.033\ X^2 - 0.004\ Y^2$	0.733	ไม่มี

เมื่อ Z คือ ค่าทางคุณภาพ

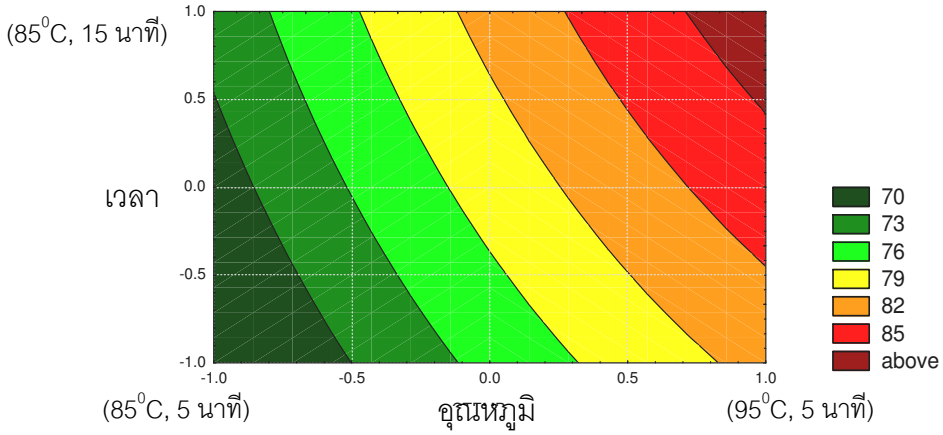
X คือ ระดับของอุณหภูมิในการให้ความร้อน (-1: 85^{0}C, 0: 90^{0}C, 1: 95^{0}C)

และ Y คือ ระดับของเวลาในการให้ความร้อน (-1: 5 นาที, 0: 10 นาที, 1: 15 นาที)

จากนั้นนำสมการถดถอยที่เหมาะสมข้างต้นไปสร้างกราฟ response surface ได้ดังภาพที่ 4.6 – 4.8 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิในการให้ความร้อน พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จะมีปริมาณผลผลิตและความแข็งมากขึ้น แต่มีความสามารถในการเกาะกันลดลง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาในการให้ความร้อน พบว่า เมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและ

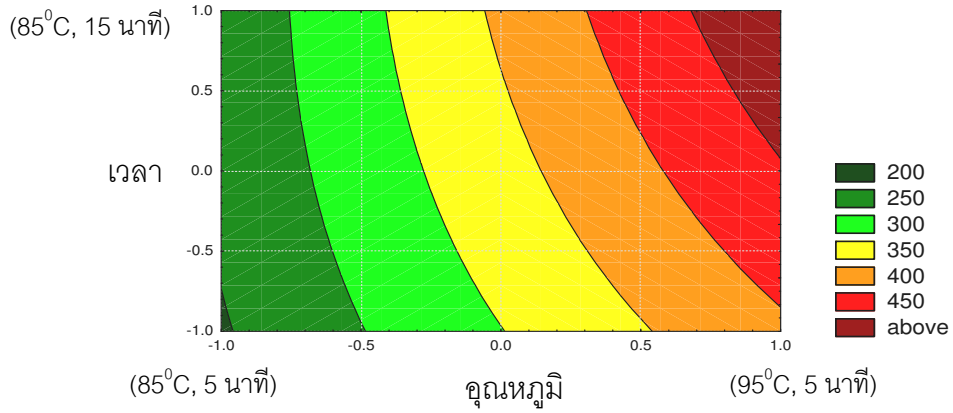
ธัญพืชที่ได้จะมีปริมาณผลผลิตและความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีความสามารถในการเกาะกันลดลงเล็กน้อย (ภาพที่ 4.6 – 4.8)

ปริมาณผลผลิต (%) = $77.155 + 7.486\ X + 3.058\ Y + 0.382\ XY - 1.033\ X^2 - 0.269\ Y^2$



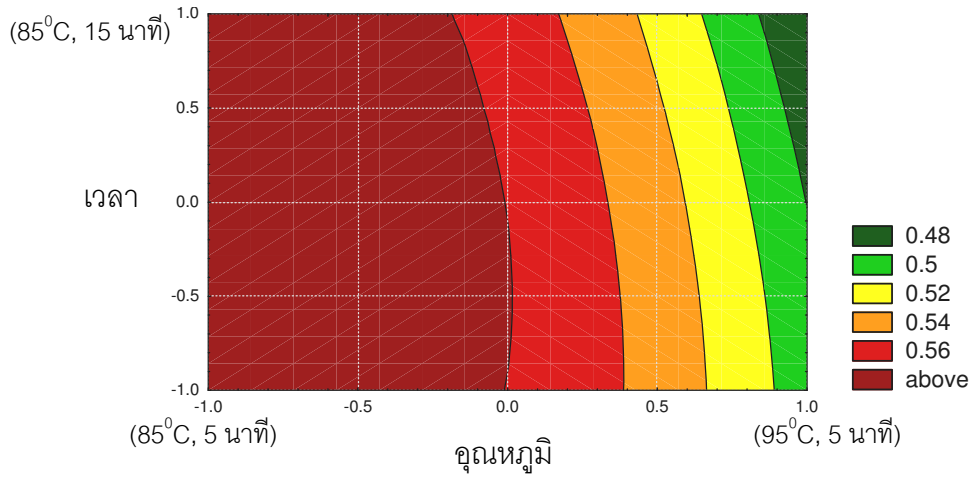
ภาพที่ 4.6 กราฟ response surface ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนกับปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช
เมื่อ X คือ ระดับของอุณหภูมิในการให้ความร้อน (-1: 85°C, 0: 90°C, 1: 95°C)
และ Y คือ ระดับของเวลาในการให้ความร้อน (-1: 5 นาที, 0: 10 นาที, 1: 15 นาที)

ความแข็ง (กรัม) = $333.152 + 118.419\ X + 29.694\ Y + 20.508\ XY - 5.403\ X^2 - 4.778\ Y^2$



ภาพที่ 4.7 กราฟ response surface ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนกับความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช
เมื่อ X คือ ระดับของอุณหภูมิในการให้ความร้อน (-1: 85°C, 0: 90°C, 1: 95°C)
และ Y คือ ระดับของเวลาในการให้ความร้อน (-1: 5 นาที, 0: 10 นาที, 1: 15 นาที)

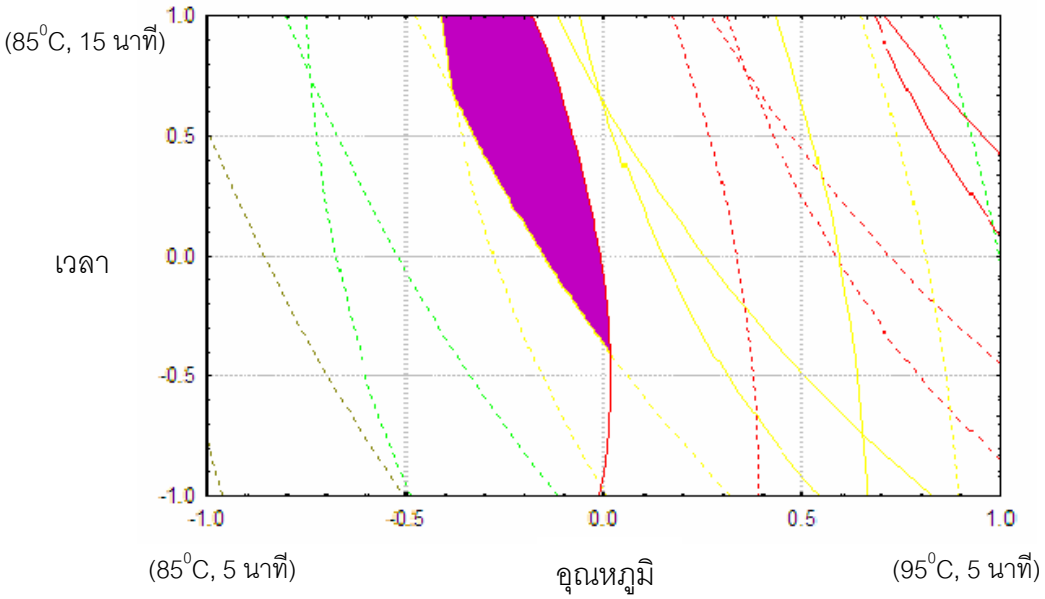
ความสามารถในการเกาะกัน $= 0.56 - 0.047\,X - 0.004\,Y - 0.01\,XY - 0.033\,X^2 - 0.004\,Y^2$



ภาพที่ 4.8 กราฟ response surface ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนกับความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช
เมื่อ X คือ ระดับของอุณหภูมิในการให้ความร้อน (-1: 85°C, 0: 90°C, 1: 95°C)
และ Y คือ ระดับของเวลาในการให้ความร้อน (-1: 5 นาที, 0: 10 นาที, 1: 15 นาที)

ลักษณะของเต้าหู้ที่ดีควรมีปริมาณผลผลิต ความแข็ง ความสามารถในการเกาะกัน และได้คะแนนความชอบที่สูง แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชในทุกด้าน พบว่า หากเลือกสภาวะการให้ความร้อนที่ทำให้ได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีปริมาณผลผลิตและความแข็งที่สูง จะมีความสามารถในการเกาะกันและคะแนนความชอบที่ต่ำ (ภาพที่ 4.6 – 4.8) แต่เนื่องจากในการศึกษาต่อไปจะมีการใช้สารตกตะกอนซึ่งจะช่วยให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีปริมาณผลผลิตและความแข็งมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงความสามารถในการเกาะกันและคะแนนความชอบเป็นสำคัญ

เมื่อนำกราฟ response surface ของปริมาณผลผลิต ความแข็งและความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช (ภาพที่ 4.6 – 4.8) มาซ้อนทับกัน จะได้ช่วงสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมดังภาพที่ 4.9 ซึ่งคือ อุณหภูมิ 88 – 90 องศาเซลเซียส และเวลา 5 – 13 นาที ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่คะแนนความชอบ พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ตารางที่ 4.8) ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการให้ความร้อนดังกล่าวมาทำการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 4.9 ช่วงสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม

สมการถดถอยในตารางที่ 4.12 ทำนายว่า การให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีปริมาณผลผลิตร้อยละ 77.16 มีความแข็งเท่ากับ 333.15 กรัม และความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.56 และเมื่อนำสภาวะการให้ความร้อนนี้ไปทำการทดลองซ้ำเพื่อการทวนสอบ พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณผลผลิตร้อยละ 77.07 ± 0.06 มีความแข็งเท่ากับ 322.43 ± 13.05 กรัม และความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.57 ± 0.02 ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าที่ได้จากการทำนายอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 ผลการทวนสอบของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม

ผลจาก	ปริมาณผลผลิต (%) [ns]	ความแข็ง (กรัม) [ns]	ความสามารถในการเกาะกัน [ns]
การทวนสอบ	77.07 ± 0.06	322.43 ± 13.05	0.57 ± 0.02
การทำนาย	77.16	333.15	0.56

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.4 ผลการศึกษาสภาวะในการตกตะกอนที่เหมาะสม

4.4.1 ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอน

จากการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เหมาะสม พบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนมีผลต่อปริมาณผลผลิต ความชื้น ความแข็ง ความสามารถในการเกาะกัน และคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.13 – 4.15) แต่ไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นและคะแนนความชอบด้านสีของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีความยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 ± 0.07 และได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีเท่ากับ 7.60 ± 1.17 (ตารางที่ 4.14 และ 4.15)

สำหรับปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า การใส่สารตกตะกอนจะช่วยให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.13) เนื่องจากที่สภาวะปกติส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลโปรตีนจะอยู่ด้านใน เมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลโปรตีนจะคลี่ออก ทำให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมาอยู่ด้านนอกและจับกันเอง ส่งผลให้โปรตีนมีประจุเป็นลบ และเมื่อเติมสารตกตะกอนลงไป เกลือแคลเซียมไอออนหรือแมกนีเซียมไอออนจากแคลเซียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต จะเข้าไปทำให้ประจุสุทธิรวมของโปรตีนให้เป็นศูนย์ มีแรงผลักทางไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้โปรตีนแต่ละโมเลกุลเข้ามาอยู่ใกล้กันมากเพียงพอที่จะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุล และก่อให้เกิดการรวมตัวกันแบบสุ่มได้เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติของเต้าหู้ (Liu, 1999) แสดงว่า การเติมสารตกตะกอนจะช่วยให้เกิดการตกตะกอนและการจับก้อนของโปรตีนได้ดียิ่งขึ้น นั่นเอง

เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่า การใช้แคลเซียมซัลเฟตได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใส่แมกนีเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใส่แคลเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.13) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cai และคณะ (2001) ที่พบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบ การใช้แคลเซียมซัลเฟตจะได้ปริมาณผลผลิตของเต้าหู้ถั่วซิกพีสูงกว่าการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาการใช้สารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่า การใช้แคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 ได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.13) ทั้งนี้เนื่องจากการใส่สารตกตะกอนในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้โปรตีนกลับมีประจุอีกและไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (กุลยา, 2533) แต่หากใส่สารตกตะกอนในปริมาณที่น้อยเกินไป จะทำให้เกิดการตะกอนไม่สมบูรณ์ (Liu, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 จะได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การใช้แคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบจะได้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รองลงมาเป็น การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณผลผลิตและความชื้นของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนต่างกัน

ชนิด	ความเข้มข้น (% ของน้ำหนักวัตถุดิบ)	ปริมาณผลผลิต (%)	ปริมาณความชื้น [ns] (% โดยน้ำหนักสด)
$CaSO_4$	1	83.01 ± 0.40 [c]	71.00 ± 1.38 [abc]
$CaSO_4$	2	87.68 ± 1.97 [a]	70.56 ± 1.43 [bc]
$CaSO_4$	3	79.82 ± 1.31 [d]	71.41 ± 1.05 [ab]
$MgSO_4$	1	79.86 ± 0.95 [d]	72.05 ± 2.55 [ab]
$MgSO_4$	2	83.33 ± 1.54 [c]	71.84 ± 2.41 [ab]
$MgSO_4$	3	86.37 ± 1.65 [b]	72.37 ± 0.94 [a]
ไม่ใช้สารตกตะกอน		78.06 ± 0.30 [e]	69.42 ± 1.04 [c]

[a-e] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ส่วนปริมาณความชื้นของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า การใส่สารตกตะกอนมีแนวโน้มทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอน โดยการใช้แคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 และการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 – 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ

($p \leq 0.05$) แต่การใช้แคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบไม่ทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.13) และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นระดับเดียวกัน พบว่า การใช้แคลเซียมซัลเฟตไม่มีผลทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้นแตกต่างจากการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนเมื่อพิจารณาการใช้สารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่า การใช้ความเข้มข้น 1 – 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบไม่มีผลทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.13)

สำหรับความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า การใส่สารตกตะกอนจะทำให้ความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีแนวโน้มสูงกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอน และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่า การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตและแคลเซียมซัลเฟตไม่ทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตจะทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีความแข็งสูงกว่าการใช้แคลเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.14) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตจะเกิดปฏิกิริยาการตกตะกอนเร็วมาก ตะกอนที่ได้จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ จึงได้เต้าหู้ที่มีเนื้อแข็ง (เพลินใจ, 2545)

เมื่อพิจารณาการใช้สารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่า การใช้แคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 จะทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีความแข็งสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับการใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความแข็งสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.13) ซึ่งเนื่องจากถ้าความเข้มข้นของสารตะกอนต่ำเกินไปจะส่งผลให้ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวเป็นเคิร์ดเต้าหู้ที่แข็งแรงได้ (Liu, 1999) ทั้งนี้การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 3 จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความแข็งสูงที่สุด รองลงมาเป็นการใช้แคลเซียมซัลเฟตร้อยละ 2 (ตารางที่ 4.14)

สำหรับความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า การใส่สารตกตะกอนจะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความสามารถในการ

เกาะกันต่ำกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่า การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตมีผลทำให้ความสามารถในการเกาะกันต่ำกว่าการใช้แคลเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตไม่มีผลทำให้ความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชแตกต่างจากการใช้แคลเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.14)

เมื่อพิจารณาการใช้สารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่า การใช้แคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 จะทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีความสามารถในการเกาะกันสูงกว่าการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับการใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.13) ซึ่งเนื่องจากการใส่สารตกตะกอนในปริมาณที่มากเกินไปจะได้เต้าหู้มีลักษณะที่หยาบ แต่หากใส่สารตกตะกอนในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการจับก้อนของโปรตีนไม่สมบูรณ์ (Liu, 1999) และพบว่า การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 - 3 ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้การไม่ใส่สารตกตะกอนจะมีความสามารถในการเกาะกันสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รองลงมาเป็นการใช้แคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 และการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 2 และ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.14 ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนต่างกัน

ชนิด	ความเข้มข้น (% ของน้ำหนักวัตถุดิบ)	ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น [ns]	ความสามารถในการเกาะกัน
$CaSO_4$	1	400.23 ± 35.39 [b]	0.70 ± 0.14	0.53 ± 0.01 [b]
$CaSO_4$	2	407.58 ± 44.77 [ab]	0.72 ± 0.02	0.52 ± 0.02 [bc]
$CaSO_4$	3	334.72 ± 21.25 [c]	0.73 ± 0.06	0.49 ± 0.02 [d]
$MgSO_4$	1	372.58 ± 42.28 [bc]	0.71 ± 0.15	0.49 ± 0.01 [d]
$MgSO_4$	2	414.85 ± 31.17 [ab]	0.74 ± 0.03	0.50 ± 0.03 [cd]
$MgSO_4$	3	452.18 ± 33.39 [a]	0.74 ± 0.05	0.50 ± 0.01 [bcd]
ไม่ใช้สารตกตะกอน		339.63 ± 42.86 [c]	0.70 ± 0.02	0.56 ± 0.03 [a]

[a-c] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัส พบว่า การใส่สารตกตะกอนจะทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัส มากกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นระดับเดียวกัน พบว่า การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตจะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสสูงกว่าแต่ไม่แตกต่างจากการใช้แคลเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนเมื่อพิจารณาการใช้สารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่า การใช้ความเข้มข้น 1 – 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบไม่มีผลทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงที่สุด และการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 จะได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงที่สุด ส่วนการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบจะได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสสูงที่สุด (ตารางที่ 4.15)

สำหรับคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม พบว่า การใส่สารตกตะกอนจะทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชได้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมมากกว่าการไม่ใส่สารตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่า การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชแตกต่างจากการใช้แคลเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่า การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตจะทำให้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชได้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงกว่าการใช้แคลเซียมซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.15) ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่มีความแข็งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเมื่อพิจารณาการใช้สารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่า การใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 – 3 ไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 3 ได้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด รองลงมาเป็นการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตและแคลเซียมซัลเฟตร้อยละ 2 และ 1 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

ตารางที่ 4.15 คะแนนความชอบของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนต่างกัน

ชนิด	ความเข้มข้น (% ของน้ำหนักวัตถุดิบ)	สี [ns]	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
$CaSO_4$	1	7.58 ± 1.12	6.65 ± 1.33 [a]	6.38 ± 1.50 [ab]	6.13 ± 1.52 [a]	6.50 ± 1.36 [ab]
$CaSO_4$	2	7.62 ± 1.15	6.47 ± 1.38 [a]	6.20 ± 1.57 [b]	6.20 ± 1.46 [a]	6.47 ± 1.28 [ab]
$CaSO_4$	3	7.68 ± 1.24	6.45 ± 1.35 [a]	6.18 ± 1.57 [b]	6.02 ± 1.59 [a]	6.22 ± 1.46 [b]
$MgSO_4$	1	7.57 ± 1.25	6.73 ± 1.42 [a]	6.69 ± 1.56 [a]	6.23 ± 1.59 [a]	6.48 ± 1.37 [ab]
$MgSO_4$	2	7.58 ± 1.12	6.77 ± 1.53 [a]	6.40 ± 1.65 [ab]	6.15 ± 1.54 [a]	6.58 ± 1.44 [a]
$MgSO_4$	3	7.62 ± 1.21	6.77 ± 1.43 [a]	6.40 ± 1.51 [ab]	6.37 ± 1.70 [a]	6.68 ± 1.53 [a]
ไม่ใส่สารตกตะกอน		7.52 ± 1.14	5.60 ± 1.44 [b]	5.23 ± 1.58 [c]	5.20 ± 1.54 [b]	5.22 ± 1.30 [c]

[a-c] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากคุณภาพของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชในทุกด้าน พบว่า ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของสารตกตะกอนที่ใช้ โดยระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของการใช้แคลเซียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต คือ ร้อยละ 2 และ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ ตามลำดับ ซึ่งการใช้แคลเซียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสและคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้จากตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 จะมีความแข็งและคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าและมีความสามารถในการเกาะกันใกล้เคียงกับการตกตะกอนด้วยแคลเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.14 และ 4.15) ดังนั้นจึงเลือกใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ มาทำการศึกษาต่อไป

4.4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการตกตะกอน

สำหรับการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน พบว่า ระยะเวลาในการตกตะกอนไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ความยืดหยุ่น และคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และรสชาติของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณผลผลิต ความแข็ง ความสามารถในการเกาะกัน และคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 71.01 ± 0.79 ความยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 ± 0.06 และได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่นรสและรสชาติเท่ากับ 6.19 ± 1.45, 6.22 ± 1.20 และ 5.92 ± 1.39 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16 และ 4.17)

สำหรับปริมาณผลผลิตของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่าเมื่อระยะเวลาในการตกตะกอนมากขึ้น ปริมาณผลผลิตจะมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้เวลาในการตกตะกอนนาน 30 นาที มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้เวลาตกตะกอนนาน 40 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับการตกตะกอนนาน 20 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.16) เนื่องจากการใช้เวลาตกตะกอนนาน ทำให้อุณหภูมิของระบบลดลงยากต่อการขึ้นรูป เพราะมีอุณหภูมิขณะขึ้นรูปต่ำเกินไป (Liu,1999)

สำหรับความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่าเมื่อเวลาในการตกตะกอนมากขึ้น จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความแข็งมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้เวลาตกตะกอนนาน 40 นาที จะทำให้ได้เต้าหู้อ่อน

จากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความแข็งสูงกว่าการตกตะกอนนาน 20 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับการตกตะกอนนาน 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.16)

สำหรับความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่า เมื่อระยะเวลาในการตกตะกอนมากขึ้น จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความสามารถในการเกาะกันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้เวลาตกตะกอนนาน 20 และ 30 นาที จะทำให้ได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความสามารถในการเกาะกันสูงกว่าการใช้เวลาตกตะกอนนาน 40 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.16) ซึ่งเป็นผลจากการใช้เวลาตกตะกอนนาน ส่งผลให้อุณหภูมิขณะขึ้นรูปต่ำเกินไป โปรตีนเกิดการรวมตัวกันไม่สมบูรณ์ จึงมีความสามารถในการเกาะกันต่ำ (Liu,1999)

ส่วนในด้านคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอยู่ระหว่าง 5.60 – 6.15 และ 5.98 – 6.55 ตามลำดับ โดยการใช้เวลาในการตกตะกอนนาน 40 นาที จะทำให้ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงกว่าการใช้เวลาตกตะกอนนาน 20 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับการใช้เวลาตกตะกอนนาน 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.17) ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่มีความแข็งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.16) และการใช้เวลาตกตะกอนนาน 40 นาที จะทำให้ได้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมมากกว่าการใช้เวลาตกตะกอนนาน 20 และ 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.17)

เมื่อพิจารณาคุณภาพของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชในทุกด้าน พบว่า การใช้เวลาในการตกตะกอนนาน 40 นาที จะได้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีความแข็งและคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้การตกตะกอนนาน 40 นาที มาทำการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.16 ปริมาณผลผลิต ความชื้น และค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้เวลาในการตกตะกอนต่างกัน

เวลา (นาที)	ปริมาณผลผลิต (%)	ปริมาณความชื้น ns (% โดยน้ำหนักสด)	ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น ns	ความสามารถในการเกาะกัน
20	85.99 ± 0.74 a	70.68 ± 0.51	375.12 ± 11.08 b	0.73 ± 0.03	0.51 ± 0.03 a
30	86.35 ± 0.25 a	71.22 ± 0.81	428.22 ± 23.81 a	0.74 ± 0.10	0.51 ± 0.03 a
40	85.32 ± 0.24 b	71.14 ± 0.97	432.08 ± 24.41 a	0.75 ± 0.04	0.45 ± 0.03 b

a,b อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.17 คะแนนความชอบของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช เมื่อใช้เวลาในการตกตะกอนต่างกัน

เวลา (นาที)	สี ns	กลิ่นรส ns	รสชาติ ns	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
20	6.10 ± 1.42	6.17 ± 1.33	5.78 ± 1.52	5.60 ± 1.54 b	6.20 ± 1.23 b
30	6.22 ± 1.51	6.28 ± 1.15	6.03 ± 1.33	6.22 ± 1.46 a	5.98 ± 1.20 b
40	6.25 ± 1.45	6.22 ± 1.12	5.95 ± 1.32	6.15 ± 1.44 a	6.55 ± 1.24 a

a,b อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบ อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอน และระยะเวลาในการตกตะกอน พบว่า กระบวนการผลิตเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่เหมาะสม คือ นำลูกเดือยไปแช่ในน้ำสะอาด นาน 8 ชั่วโมง นำไปปั่นให้ละเอียด แล้วปั่นผสมกับน้ำสะอาดในปริมาณ 4 เท่า (โดยน้ำหนัก) กรองเอากากออก จะได้น้ำนมลูกเดือย ส่วนกากงาขาวนำไปปั่นให้ละเอียด แล้วปั่นผสมกับน้ำสะอาดในปริมาณ

6 เท่า (โดยน้ำหนัก) กรองเอากากออกจะได้น้ำนมงาขาว จากนั้นนำน้ำนมทั้งสองชนิดซึ่งได้จากการเตรียมด้วยอัตราส่วนของวัตถุดิบเป็นกากงาขาวร้อยละ 69 และลูกเดือยร้อยละ 31 (โดยน้ำหนัก) มาผสมกันจะได้น้ำนมผสม หลังจากนั้นนำน้ำนมผสมไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเหลือ 78 องศาเซลเซียส เติมแมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 3 ของน้ำหนักวัตถุดิบ และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 40 นาที จากนั้นตักตะกอนใส่ลงในแม่พิมพ์ แล้วกดทับด้วยน้ำหนัก 15 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 30 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่มีลักษณะเป็นก้อน (ภาคผนวก จ)

4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า ดังตารางที่ 4.18 ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชนี้กับปริมาณโปรตีนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเต้าหู้แผ่น (มผช.461/2546) ดังแสดงในภาคผนวก ช ซึ่งกำหนดว่าเต้าหู้แผ่นหรือเต้าหู้ก้อนต้องมีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชนี้มีปริมาณโปรตีนเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเต้าหู้แผ่น

เมื่อนำองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชไปเปรียบเทียบกับเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองที่จำหน่ายทางการค้า ซึ่งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 86.61 ± 0.22 โปรตีนร้อยละ 8.03 ± 0.24 ไขมันร้อยละ 3.77 ± 0.13 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.02 ± 0.23 เส้นใยร้อยละ 0.11 ± 0.02 และเถ้าร้อยละ 0.47 ± 0.02 (โดยน้ำหนักสด) พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชและเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองมีปริมาณเส้นใยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตและเถ้าสูงกว่าเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 องค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชและเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลือง

องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนักสด)	เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช	เต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลือง [A]
ความชื้น	71.44 ± 0.11 [b]	86.61 ± 0.22 [a]
โปรตีน	15.67 ± 0.02 [a]	8.03 ± 0.24 [b]
ไขมัน	4.23 ± 0.09 [a]	3.77 ± 0.13 [b]
คาร์โบไฮเดรต	6.49 ± 0.04 [a]	1.02 ± 0.23 [b]
เส้นใย [ns]	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.02
เถ้า	2.07 ± 0.14 [a]	0.47 ± 0.02 [b]

[A] เต้าหู้ขาวอ่อนทำจากถั่วเหลืองที่จำหน่ายทางการค้า

[a,b] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัส พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีความแข็งเท่ากับ 448.80 ± 4.95 กรัม ความยืดหยุ่นเท่ากับ 0.76 ± 0.05 และความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.45 ± 0.04 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองที่จำหน่ายทางการค้า พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชและเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองมีความสามารถในการเกาะกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีความแข็งและความยืดหยุ่นต่ำกว่าเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชและเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลือง

ค่าทางคุณภาพ	เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช	เต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลือง [A]
ความแข็ง (กรัม)	448.80 ± 4.95 [b]	1097.00 ± 25.46 [a]
ความยืดหยุ่น	0.76 ± 0.05 [b]	0.98 ± 0.00 [a]
ความสามารถในการเกาะกัน [ns]	0.45 ± 0.04	0.59 ± 0.01

[A] เต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองที่จำหน่ายทางการค้า

[a,b] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

นอกจากนั้นยังพบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) เท่ากับ 0.99 ± 0.00 ร้อยละการขับน้ำออกจากเจลเท่ากับร้อยละ 20.74 ± 0.02 ค่า TBA เท่ากับ 0.06 ± 0.00 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.3×10^1 โคโลนีต่อกรัม ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม และได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.13 ± 1.33, 5.57 ± 1.50, 5.37 ± 1.65, 5.20 ± 1.30 และ 5.37 ± 1.52 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่ 4.20 คุณภาพของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้

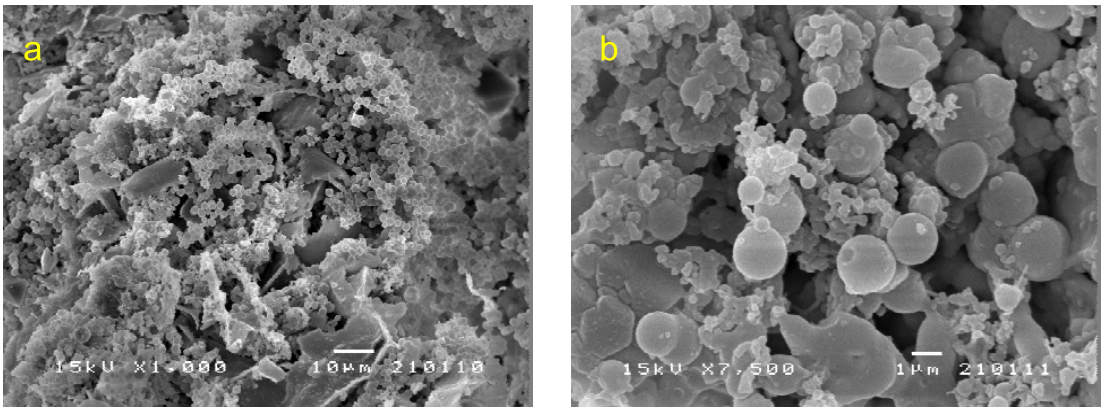
ค่าทางคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.99 ± 0.00
ร้อยละการขับน้ำออกจากเจล (%)	20.74 ± 0.02
ค่า TBA (มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม)	0.06 ± 0.00
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	2.3×10^1
ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)	น้อยกว่า 10
คะแนนความชอบด้านสี	6.13 ± 1.33
คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส	5.57 ± 1.50
คะแนนความชอบด้านรสชาติ	5.37 ± 1.65
คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส	5.20 ± 1.30
คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม	5.37 ± 1.52

จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชและเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองที่จำหน่ายทางการค้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้มีโครงสร้างที่แตกต่างกับเต้าหู้ถั่วเหลือง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะถั่วเหลืองไม่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบ ทำให้โครงสร้างของเต้าหู้ถั่วเหลืองเกิดจากเจลของโปรตีนเพียงอย่างเดียว แต่วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช โดยเฉพาะลูกเดือยมีองค์ประกอบของสตาร์ชค่อนข้างสูง จึงเป็นไปได้ที่โครงสร้างของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชจะเกิดจากเจลของโปรตีนและสตาร์ช ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชประกอบด้วยอนุภาคหลากหลายขนาดหลากหลายรูปร่างและมีช่องว่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากโครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลือง ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีลักษณะกลม มีขนาดที่ใกล้เคียงกันและมีช่องว่างที่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 4.10 และ 4.11)

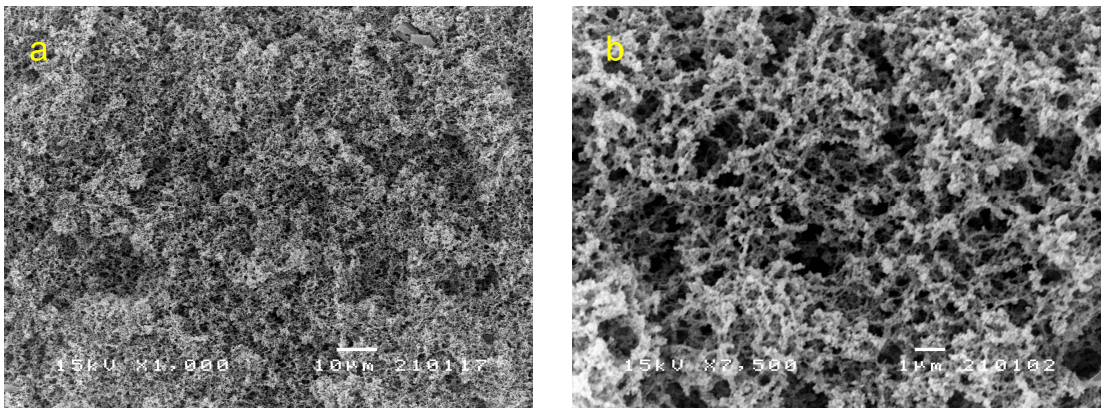
เมื่อพิจารณาที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่า โครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชประกอบด้วยอนุภาคที่มีลักษณะกลมมาเกาะกันเป็นกลุ่มอย่างหลวมๆ โดยมีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีลักษณะเป็นแผ่นยาวแทรกอยู่ทั่วไป ช่องว่างมีขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 4.10a) ส่วนเมื่อพิจารณาที่กำลังขยาย 7,500 เท่า พบว่า อนุภาคมีขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 – 3.0 ไมโครเมตร (ภาพที่ 4.10b) ทั้งนี้โครงสร้างจุลภาคของเจลที่ได้จากโปรตีนในเมล็ดงาที่เป็น 13S โกลบูลิน ประกอบด้วยอนุภาคที่มีลักษณะกลมและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 – 2.0 ไมโครเมตร มาเกาะกันเป็นร่างแหอย่างหลวมๆ (Yuno-Ohta และคณะ, 1992) แสดงว่า เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชประกอบไปด้วยอนุภาคต่างๆ หลายชนิด โดยมีอนุภาคส่วนหนึ่งเป็นโปรตีน 13S โกลบูลินจากกากงาขาวนั่นเอง

สำหรับโครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีลักษณะกลมมาเกาะกันเป็นร่างแหที่ละเอียด อนุภาคมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคในเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช และมีช่องว่างกระจายอยู่ทั่วไป โดยช่องว่างมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างในเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช (ภาพที่ 4.11) ซึ่งเป็นผลทำให้เต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองมีความแข็งและความสามารถในการเกาะกันสูงกว่าเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช (ตารางที่ 4.19)



ภาพที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้
(a : กำลังขยาย 1,000 เท่า และ b : กำลังขยาย 7,500 เท่า)



ภาพที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองที่จำหน่ายทางการค้า
(a : กำลังขยาย 1,000 เท่า และ b : กำลังขยาย 7,500 เท่า)

4.6 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้ พบว่า เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัส จะได้ว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 1 – 12 วัน ไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นและความสามารถในการเกาะกันของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อความแข็งของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชจะมีความแข็งลดลง ทั้งนี้เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีความยืดหยุ่นและความสามารถในการเกาะกันเฉลี่ยเท่ากับ 0.73 ± 0.04 และ 0.38 ± 0.04 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.21)

ตารางที่ 4.21 ค่าคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น [ns]	ความสามารถในการเกาะกัน [ns]
1	448.80 ± 4.95 [a]	0.76 ± 0.05	0.45 ± 0.04
3	434.10 ± 3.68 [a]	0.74 ± 0.07	0.38 ± 0.00
5	434.60 ± 15.56 [a]	0.72 ± 0.08	0.35 ± 0.03
8	396.75 ± 5.30 [b]	0.72 ± 0.06	0.38 ± 0.02
10	377.85 ± 2.62 [c]	0.71 ± 0.03	0.36 ± 0.02
12	351.50 ± 4.24 [d]	0.72 ± 0.02	0.37 ± 0.04

[a-d] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า TBA พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 1 – 12 วัน มีผลต่อค่า TBA ในเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชจะมีค่า TBA เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 12 วัน เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีค่า TBA เพียง 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.22) ยังไม่เกินระดับต่ำสุดที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (Shamberger และคณะ, 1977)

เมื่อพิจารณาทางด้านจุลินทรีย์ พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 1 – 12 วัน ไม่มีผลต่อจำนวนยีสต์และราในเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยตลอดระยะเวลาที่ศึกษา เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีจำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม (ตารางที่ 4.22) แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 1 – 12 วัน มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่เวลาการเก็บรักษา 12 วัน พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพียง 1.8×10^3 โคโลนีต่อกรัม (ตารางที่ 4.22) ซึ่งยังไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเต้าหู้แผ่น

(มผช.461/2546) ที่กำหนดให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่เกิน 5 x 10^4 โคโลนีต่อกรัม แสดงในภาคผนวก ช (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

ตารางที่ 4.22 ค่า TBA ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่า TBA (มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) [ns]
1	0.06 ± 0.00 [d]	2.3 x 10^{1} [d]	น้อยกว่า 10
3	0.06 ± 0.00 [d]	1.1 x 10^{2} [d]	น้อยกว่า 10
5	0.08 ± 0.00 [c]	1.8 x 10^{2} [d]	น้อยกว่า 10
8	0.09 ± 0.00 [b]	4.1 x 10^{2} [c]	น้อยกว่า 10
10	0.10 ± 0.01 [a]	1.1 x 10^{3} [b]	น้อยกว่า 10
12	0.10 ± 0.01 [a]	1.8 x 10^{3} [a]	น้อยกว่า 10

[a-d] อักษรกำกับที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 1 – 10 วัน ไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น จะมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมลดลง (ตารางที่ 4.23) อันเป็นผลจากเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีค่า TBA เพิ่มขึ้น และมีค่าความแข็งลดลง (ตารางที่ 4.21 และ 4.21) ทั้งนี้ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 วัน ได้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมต่ำกว่า 5 คะแนน และที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมต่ำกว่า 5 คะแนน (ตารางที่ 4.23) ซึ่งเป็นไปตามการทดลองของ Chang และคณะ (2003) ที่พบว่าเต้าหู้สดจะค่อยๆ สูญเสียความสด กลิ่นและรสชาติไปเรื่อยๆ จากนั้นจึงเกิดการเน่าเสียอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็น (Chang และคณะ, 2003)

ตารางที่ 4.23 คะแนนความชอบของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	สี [ns]	กลิ่นรส [ns]	รสชาติ [ns]	เนื้อสัมผัส [ns]	ความชอบโดยรวม [ns]
1	6.13 ± 1.33	5.57 ± 1.50	5.37 ± 1.65	5.20 ± 1.30	5.37 ± 1.52
3	6.10 ± 1.42	5.67 ± 1.54	5.13 ± 1.48	5.03 ± 1.40	5.50 ± 1.41
5	6.07 ± 1.23	5.40 ± 1.38	5.10 ± 1.77	5.03 ± 1.33	5.33 ± 1.40
8	5.80 ± 1.30	5.10 ± 1.45	5.20 ± 1.75	5.03 ± 1.50	4.93 ± 1.60
10	5.67 ± 1.18	5.10 ± 1.40	5.03 ± 1.77	4.90 ± 1.27	4.77 ± 1.41

[ns] ค่าเฉลี่ยในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เนื่องจากตลอดการเก็บรักษา 12 วัน เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนของเต้าหู้แผ่น (มผช.461/2546) และมีค่า TBA ต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร (ตารางที่ 4.21 และ 4.22) ดังนั้นจึงพิจารณาอายุการเก็บรักษาของเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช โดยคำนึงถึงคะแนนความชอบเป็นสำคัญ ซึ่งพบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 วัน ได้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมต่ำกว่า 5 คะแนน (ตารางที่ 4.23) นั่นคือ ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ หรือกล่าวได้ว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชนี้มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.7 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชที่ได้

เมื่อทำการทดสอบการยอมรับจากกลุ่มผู้บริโภคจำนวน 200 คน ด้วยแบบทดสอบการยอมรับ (ภาคผนวก ฉ) ได้ผลดังนี้

จากข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางประชากรศาสตร์ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 71.0) ส่วนผู้บริโภคที่เป็นเพศชายมีร้อยละ 29.0 และผู้บริโภคส่วนใหญ่มีอายุน้อยกว่า 21 ปี (ร้อยละ 52.5) รองลงมาคือ มีอายุ 21 – 30 ปี (ร้อยละ 37.5) ส่วนระดับการศึกษา พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ร้อยละ 65.5)

และผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นนักเรียนหรือนักศึกษา (ร้อยละ 75.0) ส่วนผู้บริโภคที่มีอาชีพเป็นพนักงานเอกชนหรือลูกจ้างมีร้อยละ 25.0 สำหรับรายได้ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีรายได้ 5,001 – 10,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 42.0) รองลงมาคือ มีรายได้น้อยกว่า 5,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 40.5) และมีรายได้ 10,001 – 15,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 11.0) ตามลำดับ และผู้บริโภคส่วนใหญ่มีสถานภาพโสด (ร้อยละ 88.9) รองลงมาคือ สมรสแล้ว (ร้อยละ 10.1) ส่วนขนาดครอบครัว พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีสมาชิกในครอบครัว 2 – 4 คน (ร้อยละ 56.0) รองลงมาคือ มีสมาชิกมากกว่า 4 คน (ร้อยละ 29.5) และมีผู้บริโภคที่อาศัยอยู่คนเดียว ร้อยละ 14.5 (ตารางที่ 4.24)

ตารางที่ 4.24 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภค

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
เพศ	ชาย	58	29.0
	หญิง	142	71.0
อายุ (ปี)	น้อยกว่า 21	105	52.5
	21 – 30	75	37.5
	31 – 40	15	7.5
	41 – 50	2	1.0
	มากกว่า 50	3	1.5
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	4	2.0
	มัธยมศึกษาตอนต้น	4	2.0
	มัธยมศึกษาตอนปลาย	133	66.5
	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	4	2.0
	ปริญญาตรี	50	25
	สูงกว่าปริญญาตรี	5	2.5
อาชีพ	นักเรียนหรือนักศึกษา	150	75.0
	พนักงานเอกชนหรือลูกจ้าง	50	25.0
รายได้	น้อยกว่า 5,000	81	40.5
(บาทต่อเดือน)	5,001 – 10,000	84	42.0
	10,001 – 15,000	22	11.0
	15,001 – 20,000	8	4.0
	มากกว่า 20,001	3	1.5
สถานภาพการสมรส	โสด	176	88.9
	สมรส	20	10.1
	หม้ายหรือหย่าร้าง	2	1.0
ขนาดครอบครัว	1	28	14.5
(คน)	2 – 4	108	56.0
	มากกว่า 4	57	29.5

จากข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค พบว่า ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์อาหารมีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อหรือบริโภคอาหารในระดับสำคัญปานกลาง (ร้อยละ 61.8) โดยกลุ่มผู้บริโภคให้ความสำคัญกับความแปลกใหม่ในระดับสำคัญมากและสำคัญปานกลางรวมเป็นร้อยละ 88.4 (ตารางที่ 4.25) ส่วนประโยชน์หรือคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารมีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อหรือบริโภคอาหารในระดับสำคัญมาก (ร้อยละ 55.3) โดยกลุ่มผู้บริโภคให้ความสำคัญกับประโยชน์หรือคุณค่าทางโภชนาการในระดับสำคัญมากและสำคัญปานกลางรวมเป็นร้อยละ 96.5 (ตารางที่ 4.25)

เมื่อพิจารณาความชอบในการรับประทานเต้าหู้อ่อน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความรู้สึกเฉยๆ ต่อการรับประทานเต้าหู้อ่อน (ร้อยละ 46.7) และมีผู้บริโภคที่ชอบและไม่ชอบรับประทานเต้าหู้อ่อนร้อยละ 39.7 และ 13.6 ตามลำดับ ส่วนความชอบที่มีต่อกลิ่นถั่วในเต้าหู้อ่อน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความรู้สึกเฉยๆ ต่อกลิ่นถั่วในเต้าหู้อ่อน (ร้อยละ 67.7) และมีผู้บริโภคที่ชอบและไม่ชอบกลิ่นถั่วในเต้าหู้อ่อนร้อยละ 14.1 และ 18.2 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.25)

เมื่อพิจารณาความถี่ในการรับประทานเต้าหู้อ่อน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานเต้าหู้อ่อน 1 – 3 วันต่อเดือน (ร้อยละ 33.7) รองลงมาเป็นผู้บริโภคที่รับประทานเต้าหู้อ่อนน้อยกว่า 1 วันต่อเดือน (ร้อยละ 26.1) 4 – 6 วันต่อเดือน (ร้อยละ 18.6) และ 7 – 9 วันต่อเดือน (ร้อยละ 12.1) ตามลำดับ ทั้งนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานอาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อนในลักษณะต้ม (ร้อยละ 71.5) รองลงมาเป็นผัด (ร้อยละ 32.0) และทอด (ร้อยละ 28.0) ตามลำดับ และผู้บริโภคส่วนใหญ่จะซื้อในรูปของเต้าหู้สดไปทำอาหารเองที่บ้าน (ร้อยละ 48.0) รองลงมาเป็นรับประทานอาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อนภายในร้านอาหารหรือภัตตาคารหรืองานเลี้ยง (ร้อยละ 47.0) และซื้ออาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อนกลับไปทานที่บ้าน (ร้อยละ 38.0) (ตารางที่ 4.25)

สำหรับผู้ที่มีอิทธิพลต่อการเลือกรับประทานอาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อน พบว่า ผู้ที่มีอิทธิพลมากที่สุด คือ ตัวผู้ทดสอบเอง (ร้อยละ 56.0) รองลงมาเป็นครอบครัว (ร้อยละ 54.5) ส่วนสถานที่ซื้อเต้าหู้อ่อนหรืออาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อจากตลาดสด (ร้อยละ 59.0) รองลงมาเป็นซุปเปอร์มาร์เก็ตหรือห้างสรรพสินค้า (ร้อยละ 39.0) ร้านอาหารทั่วไป (ร้อยละ 30.0) และร้านสะดวกซื้อ (ร้อยละ 20.0) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.25)

ตารางที่ 4.25 พฤติกรรมการบริโภคของกลุ่มผู้บริโภค

พฤติกรรมการบริโภค	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ระดับความสำคัญของความแปลกใหม่		
มาก	53	26.6
ปานกลาง	123	61.8
น้อย	16	8.0
ไม่สำคัญ	7	3.5
ระดับความสำคัญของประโยชน์หรือคุณค่าทางโภชนาการ		
มาก	110	55.3
ปานกลาง	82	41.2
น้อย	4	2.0
ไม่สำคัญ	3	1.5
ความถี่ในการรับประทานเต้าหู้อ่อน (วันต่อเดือน)		
น้อยกว่า 1	52	26.1
1 – 3	67	33.7
4 – 6	37	18.6
7 – 9	24	12.1
10 – 12	11	5.5
มากกว่า 12	8	4.0
ความชอบที่มีต่อการรับประทานเต้าหู้อ่อน		
ชอบ	79	39.7
เฉยๆ	93	46.7
ไม่ชอบ	27	13.6
ความชอบที่มีต่อกลิ่นถั่วในเต้าหู้อ่อน		
ชอบ	28	14.1
เฉยๆ	134	67.7
ไม่ชอบ	36	18.2

ตารางที่ 4.25 (ต่อ)

พฤติกรรมการบริโภค	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ลักษณะของอาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อนที่รับประทาน		
ต้ม	143	71.5
ผัด	64	32
ทอด	56	28
ตุ๋น	3	1.5
รูปแบบของอาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อนที่ซื้อ		
ซื้อเต้าหู้สดไปทำอาหารเองที่บ้าน	96	48
ซื้อจากร้านต่างๆ แล้วนำกลับไปทานที่บ้าน	76	38
รับประทานในร้านหรือภัตตาคารหรืองานเลี้ยง	94	47
ผู้ที่มีอิทธิพลต่อการรับประทานอาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อน		
ผู้ทดสอบ	112	56
ครอบครัว	109	54.5
เพื่อน	16	8
แพทย์หรือโภชนากรหรือนักวิชาการ	7	3.5
หนังสือเกี่ยวกับอาหาร	4	2
สถานที่ซื้อเต้าหู้อ่อนหรืออาหารที่ทำจากเต้าหู้อ่อน		
ตลาดสด	118	59
ร้านสะดวกซื้อ	40	20
ร้านอาหารทั่วไป	60	30
ซุปเปอร์มาร์เก็ตหรือห้างสรรพสินค้า	78	39

จากข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช พบว่าตัวอย่างเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อยโดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 5.70 ± 1.15, 5.30 ± 1.25, 5.11 ± 1.31, 5.58 ± 1.40 และ 5.39 ± 1.23 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.26)

ตารางที่ 4.26 คะแนนความชอบที่มีต่อเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชของกลุ่มผู้บริโภค

คะแนนความชอบ	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ด้านสี	5.70 ± 1.15
ด้านกลิ่นรส	5.30 ± 1.25
ด้านรสชาติ	5.11 ± 1.31
ด้านเนื้อสัมผัส	5.58 ± 1.40
ด้านความชอบโดยรวม	5.39 ± 1.23

เมื่อพิจารณาความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความเห็นว่าอาจจะซื้อ (ร้อยละ 39.7) รองลงมาคือ ไม่แน่ใจ (ร้อยละ 37.7) และอาจจะไม่ซื้อ (ร้อยละ 17.1) ตามลำดับ ทั้งนี้กลุ่มผู้บริโภคมีความสนใจซื้อในระดับอาจจะซื้อและซื้อแน่นอนรวมเป็นร้อยละ 42.7 โดยเหตุผลหลักที่ทำให้สนใจซื้อ คือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (ร้อยละ 73.6) รองลงมาคือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ (ร้อยละ 19.0) ส่วนเมื่อพิจารณาระดับราคา พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความเห็นว่าเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชนี้ควรมีราคาเท่ากับ (ร้อยละ 29.5) หรือแพงกว่าเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองเล็กน้อย (ร้อยละ 28.0) รองลงมาคือ ถูกกว่าเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองเล็กน้อย (ร้อยละ 23.5) (ตารางที่ 4.27) นั่นคือ ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความเห็นว่าเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชนี้ควรมีราคาเท่ากับหรือใกล้เคียงกับเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืชของกลุ่มผู้บริโภค

ปัจจัยที่ศึกษา	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ความสนใจซื้อ		
ไม่ซื้อแน่นอน	5	2.5
อาจจะไม่ซื้อ	34	17.1
ไม่แน่ใจ	75	37.7
อาจจะซื้อ	79	39.7
ซื้อแน่นอน	6	3.0
เหตุผลที่สนใจซื้อ		
แปลกใหม่	23	19.0
มีประโยชน์ต่อสุขภาพ	89	73.6
คุณภาพดี	4	3.3
รสชาติดี	3	1.5
อื่นๆ	2	2.6
ระดับราคา เมื่อเทียบกับเต้าหู้อ่อนที่ทำจากถั่วเหลือง		
ถูกกว่ามาก	3	1.5
ถูกกว่าปานกลาง	14	7.0
ถูกกว่าเล็กน้อย	47	23.5
เท่ากัน	59	29.5
แพงกว่าเล็กน้อย	56	28.0
แพงกว่าปานกลาง	18	9.0
แพงกว่ามาก	3	1.5