บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ส่วนประกอบทางเคมีและกายภาพของเศษเนื้อนกกระจอกเทศ

วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกระจอกเทศด้านโปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า คาร์โบไฮเดรต และค่าพลังงานความร้อน ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกระจอกเทศ

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
โปรตีน(P)	21.06 ±0.09
ไขมัน (L)	2.10 ±0.03
ความชื้น (M)	75.78 ±0.06
เถ้า (A)	1.06 ±0.02
คาร์โบไฮเดรต =100-(%M+%L+%P+%A)	0
ค่าพลังงานความร้อน = (%Cx4)+(%Lx9)+(%Px4)	103.14 ±0.05

ตารางที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกรมปศุสัตว์ (ตารางที่ 2.1) ปริมาณโปรตีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 21.06 ซึ่งค่าที่ได้จากกรมปศุสัตว์ระบุว่าเนื้อนกกระจอกเทศมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 22 ในส่วนของปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.10 ค่าที่ได้จากกรมปศุสัตว์ พบว่าเนื้อนกกระจอกเทศมีไขมันร้อยละ 2.0 ผลของความชื้น และเถ้าที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 76.37, 1.06 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับกรมปศุสัตว์ พบว่าเนื้อนกกระจอกเทศมีปริมาณความชื้น และเถ้าเท่ากับร้อยละ 75.5 และ 0.98 ตามลำดับ

พบว่าไม่มีคาร์โบไฮเดรตในเศษเนื้อนกกระจอกเทศ เนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ทั่วไปจะเป็นแหล่งของโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นชิ้นส่วนของกล้ามเนื้อ (muscle)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และคล้ายเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fibers) ดังนั้นจึงแทบจะไม่พบคาร์โบไฮเดรตในเนื้อสัตว์ทั่วไป (สัญชัย, 2535) ส่วนค่าพลังงานความร้อนจากการวิเคราะห์พบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 103.14 Kcal/100g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกรมปศุสัตว์เท่ากับ 96.9 Kcal/100g

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกระจอกเทศ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเนื้อนกกระจอกเทศทั่วไปแสดงให้เห็นว่าการบริโภคเศษเนื้อนกกระจอกเทศ จะได้รับคุณค่าทางอาหารไม่แตกต่างจากการบริโภคเนื้อนกกระจอกเทศทั่วไปจึงเป็นทางเลือกในการบริโภคได้ คือ มีโปรตีนสูง ไขมันต่ำ

4.1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) และกลูเตน (gluten)

ส่วนประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตนซึ่งเป็นสารยึดเกาะ (binder) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และกลูเตน

ส่วนประกอบทางเคมี	ชนิดสารยึดเกาะ (Binder)	
	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (ร้อยละ)	กลูเตน (ร้อยละ)
โปรตีน	91.31 ±0.07	74.71 ±0.09
ไขมัน	0.74 ±0.04	1.16 ±0.05
ความชื้น	3.75 ±0.07	7.77 ±0.08
เถ้า	3.79 ±0.03	0.77 ±0.04
คาร์โบไฮเดรต	0.41 ±0.01	15.59 ±0.07

ตารางที่ 4.2 พบว่าส่วนประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และกลูเตน มีค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแหล่งอ้างอิง (ตารางที่ 2.3 และ2.4) ซึ่งค่าจากแหล่งอ้างอิงระบุว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีปริมาณโปรตีน, ไขมัน, ความชื้น, เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ ร้อยละ 90, 0.5, 4.5, 3.5 และน้อยกว่า 3 โดยน้ำหนักตามลำดับ ส่วนในกลูเตนมีปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 77, 1.1, 8, 0.7 และ18 โดยน้ำหนักตามลำดับ

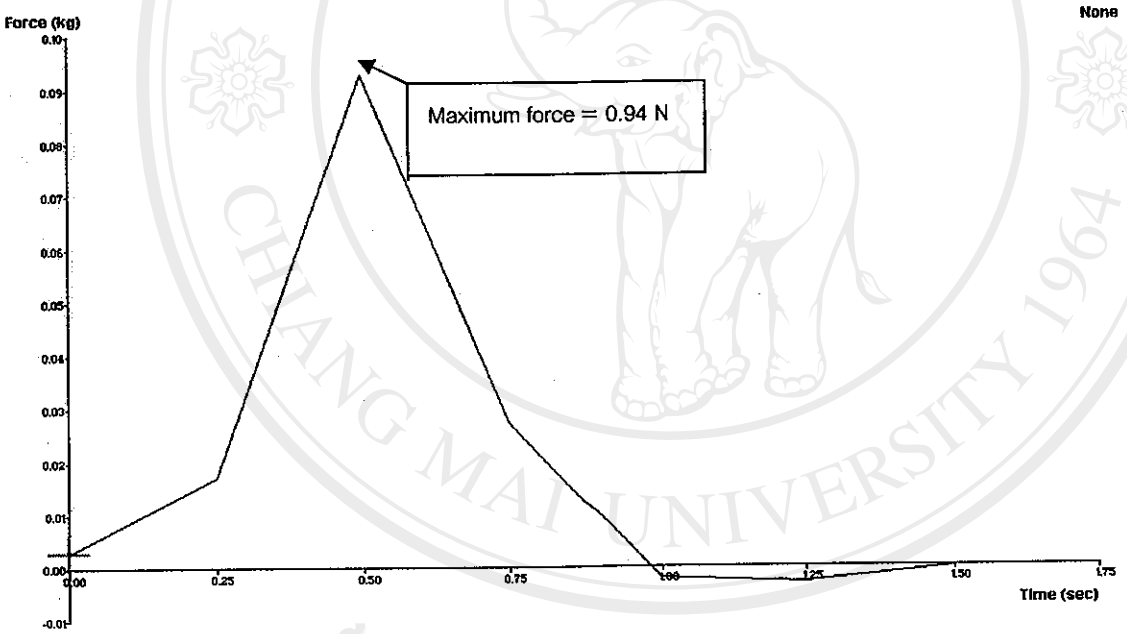
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าโปรตีนของกลูเตน (gluten) ส่วนกลูเตนจะมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตปะปนอยู่ จึงทำให้มีค่าโปรตีนต่ำกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด อย่างไรก็ตามโปรตีนทั้งสองนี้เป็นสารยึดเกาะที่ดี (binder) ส่วนกลูเตนนอกจากจะเพิ่มสมบัติการยืดหยุ่น (elastic) แล้วยังมีค่าการยึดติด (adhesiveness) สูงอีกด้วย (Apichartsrangkoon, 2001)

4.1.2 สมบัติทางกายภาพของเศษเนื้อนกกระจอกเทศ

4.1.2.1 ความเหนียวของเจล (gel strength)

จากการวิเคราะห์ความเหนียวของเจล (gel strength) ของเศษเนื้อนกกระจอกเทศพบว่ามีค่าแรงต้านการกดสูงสุด (maximum force) เท่ากับ 0.94 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1



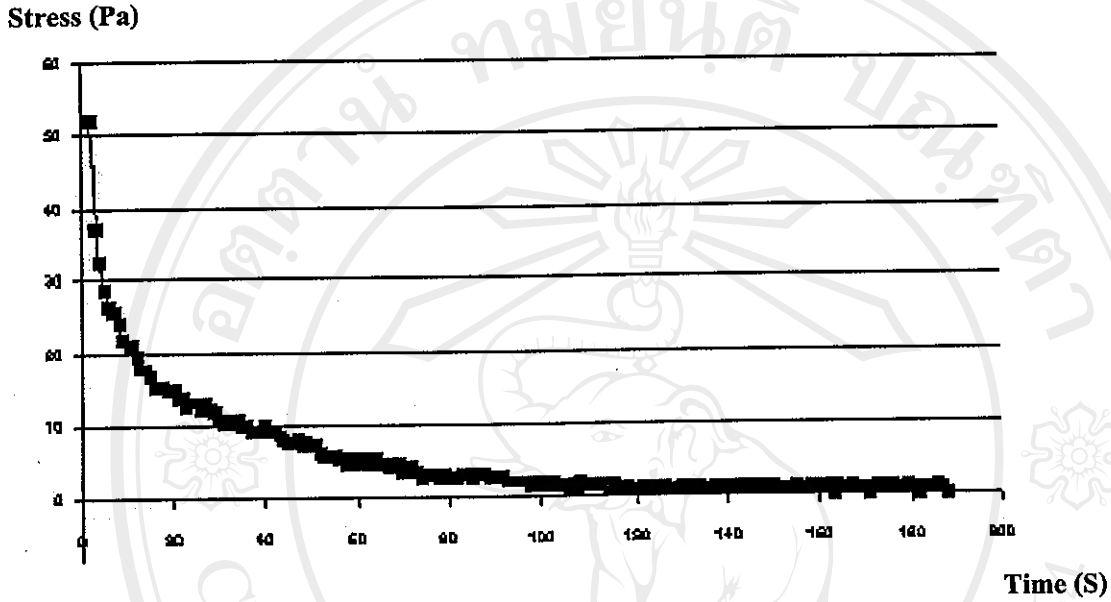
รูปที่ 4.1 ค่าแรงต้านการกดสูงสุด (maximum force) ของเศษเนื้อนกกระจอกเทศ

รูปที่ 4.1 ค่าแรงต้านการกดสูงสุดของเศษเนื้อนกกระจอกเทศมีค่าเท่ากับ 0.94 นิวตัน แสดงว่าเศษเนื้อนกกระจอกเทศมีความเหนียวน้อยมาก เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ผลิตได้ในหน่วยทดลองที่ 8 ซึ่งมีค่าสูงสุด 18.67 นิวตัน ทั้งนี้อาจเกิดจากโครงสร้างเจลโปรตีนในเนื้อธรรมชาติค่อนข้างคลายตัวเพราะมีน้ำอยู่ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 76 (ตาราง 4.1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.2 การพักความเค้น (stress relaxation) ในเศษเนื้อนกกระจอกเทศ

ผลการศึกษาการพักความเค้นของเศษเนื้อนกกระจอกเทศพบว่าได้ค่าความเค้นที่จุดสมดุลย์ (equilibium stress) เท่ากับ 0 ปาสคาล ดังแสดงในรูปที่ (4.2)



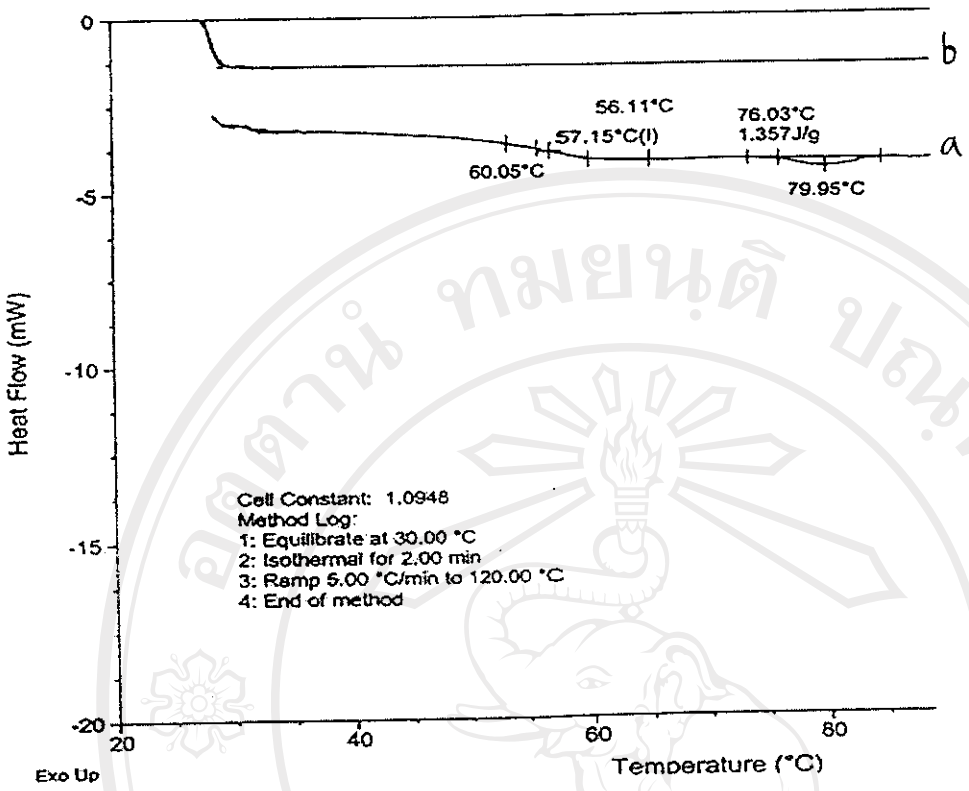
รูปที่ 4.2 การพักความเค้น (stress relaxation) ของเศษเนื้อนกกระจอกเทศ

รูปที่ 4.2 พบว่าค่าแรงที่จุดสมดุล (equilibium stress) ของเศษเนื้อนกกระจอกเทศมีค่าเท่ากับ 0 ปาสคาล แสดงให้เห็นว่าเศษเนื้อนกกระจอกเทศมีสมบัติการไหล (viscous) มาก และมีสมบัติการยืดหยุ่น (elastic) น้อย แสดงว่าโครงสร้างที่เป็นโปรตีนคลายตัวมากในน้ำ ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับผลค่าความเหนียวของเจล (gel strength)

4.1.2.3 อุณหภูมิในการเสียสภาพของโปรตีนในเศษเนื้อนกกระจอกเทศและเบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่โปรตีนในเศษเนื้อนกกระจอกเทศเสียสภาพ โดย DSC จาก endothermic curve ซึ่งพบ 2 พีคที่อุณหภูมิ 60.05 องศาเซลเซียส และ 79.95 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิในการเสียสภาพของโปรตีนในเศษเนื้อนกกระจอกเทศ

รูปที่ 4.3 (a) ในจำนวน 2 พีคนี้ คือ พีคที่ 1 เป็นพีคของโปรตีนไมโอซิน (myosin) ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิ 60.05 องศาเซลเซียส และพีคที่ 2 เป็นพีคของโปรตีนแอคติน (actin) ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิ 79.95 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ (Sarach and Nazlin, 1998) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงสุดในการทำให้เศษเนื้อนกกระจอกเทศเสียสภาพทั้งหมด คือ อุณหภูมิ 79.95 องศาเซลเซียสซึ่งถ้านำเศษเนื้อนกกระจอกเทศไปผ่านกระบวนการแปรรูป (processed) จะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิ 79.95 องศาเซสเซียส

รูปที่ 4.3 (b) อุณหภูมิที่เบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศ มีการเสียสภาพของโปรตีนเมื่อทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส โดยไม่พบพีคเกิดขึ้น แสดงว่าโปรตีนในเบอร์เกอร์มีการเสียสภาพ (denature) โดยสมบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ศึกษาปริมาณส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) กลูเตน (gluten) และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) ที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศ

ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต โดยแปรผันปริมาณการใช้ในตารางที่ 3.1

4.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่ยังไม่ผ่านการทำให้สุก

สมบัติทางกายภาพของส่วนผสมเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่ยังไม่ผ่านการทำให้สุกโดยใช้วิธีกดปล่อย (Annular Pumping) ซึ่งได้ค่า tanδ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ค่า tanδ ของส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบที่ได้จากการทดลอง และจากการแทนค่าในสมการที่ 4.1

หน่วยทดลอง	ค่า tanδ จากการทดลอง	ค่า tanδ จากการแทนค่าในสมการที่ 4.1
1	0.10	0.10
2	0.09	0.09
3	0.07	0.07
4	0.07	0.06
5	0.10	0.10
6	0.07	0.09
7	0.07	0.07
8	*0.06	*0.06
9	0.10	0.09
10	0.08	0.07
11	**0.12	**0.11
12	*0.06	*0.06
13	0.08	0.08
14	0.09	0.08
15	0.09	0.08
16	0.08	0.08
17	0.08	0.08
18	0.08	0.08

หมายเหตุ * ค่าต่ำสุด ** ค่าสูงสุด

ผลการเปรียบเทียบระดับการใช้สารยึดเกาะสองชนิดคือโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และกลูเตน รวมทั้งสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่าสารยึดเกาะสองชนิดคือ กลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลต่อค่าลอสแทนเจนท์ (tanδ) ซึ่งสมการที่ได้คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\tan\delta = 0.12 - 1.11\times10^{-2}\,(\text{Gluten}) - 4.78\times10^{-3}\,(\text{Soy Protein Isolate})$$ สมการที่ 4.1

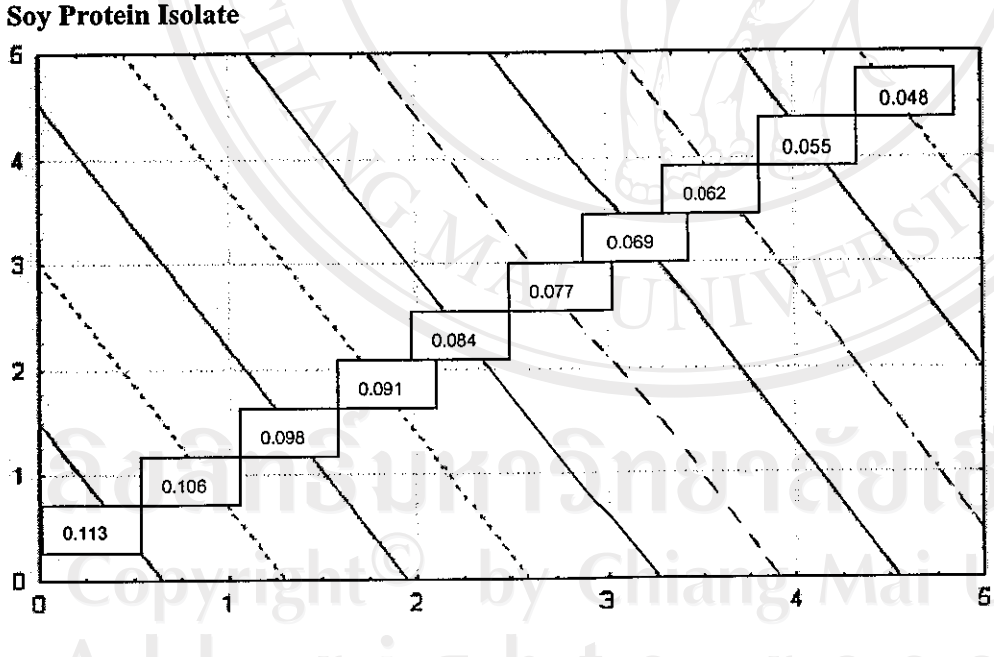
$$R^2 = 0.79$$

จากสมการพบว่า การเติมกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะมีผลทำให้ค่า tanδ ลดลงถึงร้อยละ 79 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเติมกลูเตนมีผลทำให้ค่า tanδ ลดลงมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด โดยพิจารณาจากเครื่องหมาย และค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ ส่วนที่เหลือมาจากผลของสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต

เมื่อแทนค่า(soy protein isolate, gluten) ที่ทำการผันแปรจากตารางที่ 3.1 ลงในสมการที่ 4.1 พบว่าค่า tanδ น้อยที่สุดคือ 0.06 ได้แก่ หน่วยทดลองที่ 8 และ 12 ส่วนค่า tanδ สูงสุดคือ 0.11 ได้แก่หน่วยทดลองที่ 11 ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับผลจากการทดลอง (ตาราง 4.3) แสดงกราฟที่ได้จากการทำนายโดยสมการ ดังรูปที่ 4.4

3D Contour Plot

$\tan\delta = 0.12 - 1.11\times10^{-2}\,(\text{Gluten}) - 4.78\times10^{-3}\,(\text{Soy Protein Isolate})$



รูปที่ 4.4 ทำนายการเติมกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่มีผลต่อค่า tanδ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 พบว่าการที่ค่า tanδ ลดลงจากการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และกลูเตนโดยกลูเตนจะมีผลมากกว่า แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมเบอร์เกอร์มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic, G′) สูงกว่าสมบัติการไหล (viscous, G″) มากเนื่องจากค่า tanδ = G″/G′ แสดงว่าส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบมีการสร้างพันธะที่ถาวรจึงสลายตัวยาก ซึ่งการที่เติมกลูเตนลงไปในเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศแล้วทำให้ค่า tanδ ลดลงมากกว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด เนื่องจากกลูเตนจะช่วยในการเกาะยึดพันธะกับเนื้อได้ดีกว่าเพราะโปรตีนที่ประกอบเป็นกลูเตน คือ glutenin แสดงสมบัติยืดหยุ่น (elastic) ส่วน gluiadin แสดงสมบัติไหลหนืด (viscous) พันธะที่อาจพบจากกลูเตนกับเนื้อเช่นพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะที่พบมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ดังผลอิเลคโตรโฟลิแกรม (gel electrophoregrams) (รูปที่ 4.15) และผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติวิสโคอิลาสติกในการทดสอบค่าความเค้นสมดุล (equilibrium stress) ในเบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุก อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาส่วนผสมกลูเตนกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดของ Apichartsrangkoon and Ledward (2002)

4.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส

นำเบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกแล้วนำไปวัดคุณภาพทางด้านร้อยละผลผลิตที่ได้ (cooking yield) ร้อยละการหดตัว (shrinkage) ความแข็งของเจล (gel strength) และการพักความเค้น (stress relaxation) โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเบอร์เกอร์หลังการทำให้สุกที่ได้จากการทดลอง และจากการแทนค่าในสมการ

หน่วยทดลอง	สมบัติทางกายภาพ									
	% cooking yield		% shrinkage		gel strength ค่า (maximum force, N)		% water holding capacity		ค่า equilibrium stress (Pa)	
	ผลการทดลอง	แทนค่าสมการที่ 4.2	ผลการทดลอง	แทนค่าสมการที่ 4.3	ผลการทดลอง	แทนค่าสมการที่ 4.4	ผลการทดลอง	แทนค่าสมการที่ 4.5	ผลการทดลอง	แทนค่าสมการที่ 4.6
1	*68.56	*71.75	**21.20	**17.74	*8.27	*11.23	*64.00	*67.44	*75.85	*74.07
2	73.34	77.60	17.52	16.73	12.98	11.86	66.32	67.83	99.04	108.71
3	75.12	74.12	16.70	16.84	12.43	12.30	66.45	67.91	111.13	129.69
4	78.91	79.96	14.80	15.83	14.03	12.93	67.55	68.00	120.42	124.34
5	75.05	74.14	15.27	15.80	12.15	12.32	78.23	80.67	77.85	84.07
6	83.34	80.00	13.80	11.82	13.58	12.94	78.77	80.65	91.35	108.71
7	83.66	83.53	12.56	12.25	18.26	16.58	79.49	80.90	77.32	83.69
8	**85.67	**89.38	*9.69	*8.26	**19.93	**19.20	80.66	80.23	96.79	104.33
9	72.11	73.91	17.38	16.5	13.13	12.90	76.84	74.11	96.23	98.48
10	83.25	83.76	11.43	12.28	15.74	13.96	78.50	74.13	136.55	139.93
11	72.02	73.87	15.48	16.28	12.72	11.18	76.28	74.50	81.54	80.83
12	84.64	83.80	10.96	12.50	18.67	15.68	76.57	74.13	**152.83	**157.57
13	76.43	73.87	16.55	18.39	14.22	11.18	66.12	62.98	77.42	79.20
14	83.95	83.80	10.17	10.40	14.73	15.68	**82.34	**85.23	76.13	67.20
15	81.06	78.83	14.04	14.39	14.39	13.43	75.70	74.11	78.77	79.30
16	80.86	78.83	14.62	14.39	14.02	13.43	74.00	74.11	79.43	80.30
17	82.00	78.83	14.71	14.39	14.40	13.43	76.12	74.11	78.10	79.30
18	81.81	78.83	13.51	14.39	14.25	13.43	75.67	74.11	77.98	79.30

หมายเหตุ * ค่าต่ำสุด ** ค่าสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.1 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (cooking yield)

การทดลองการหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ของเบอร์เกอร์เศษเนื้อกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส ซึ่งได้แสดงค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการที่ 4.2 ดังตารางที่ 4.4

เปรียบเทียบระดับการใช้สารยึดเกาะสองชนิด คือโปรตีนถั่วเหลืองชนิดสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่าอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ สมการที่ได้คือ

cooking yield = 68.95 + 19.86 (Gluten *Phosphate) + 1.87 (Soy Protein Isolate) (สมการที่ 4.2)

$R^2 = 0.87$

อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ถึงร้อยละ 87 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดย อันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตมีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตที่ได้มากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด โดยพิจารณาจากเครื่องหมาย และค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

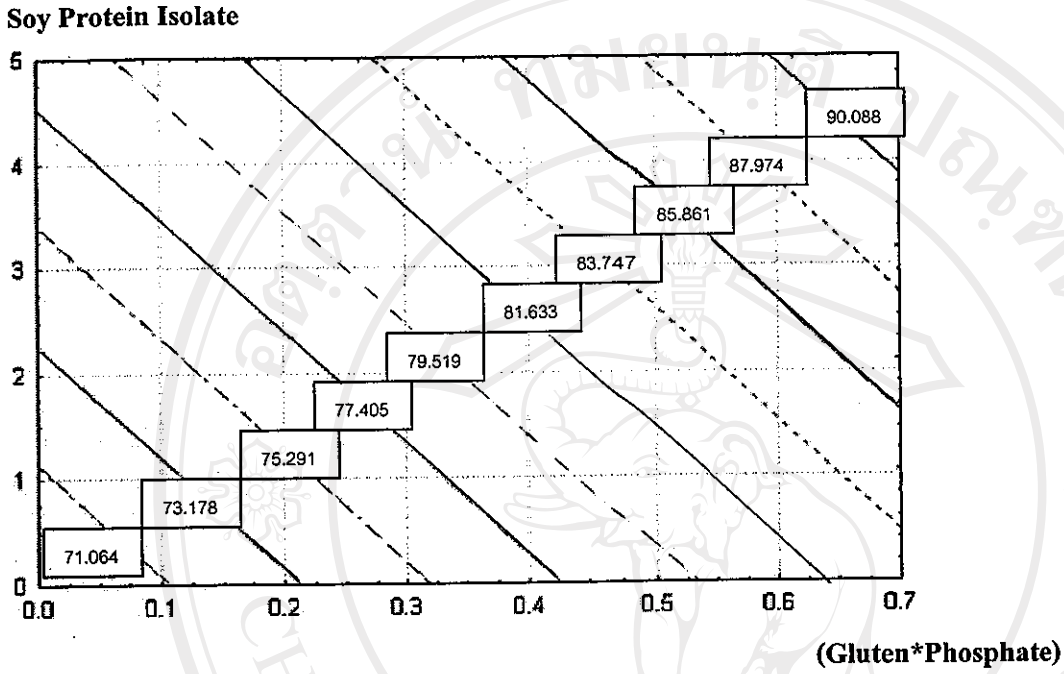
เมื่อแทนค่า (soy protein isolate, gluten, phosphate) ที่ทำการผันแปรลงในสมการที่ได้ พบว่าค่าร้อยละผลผลิตที่ได้สูงสุดคือ 89.38 ได้แก่หน่วยทดลองที่ 8 โดยเติมโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 3.99 โดยน้ำหนัก รวมทั้งใช้อันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากับร้อยละ 0.64 โดยน้ำหนัก (กลูเตนร้อยละ 3.99โดยน้ำหนัก, สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และค่าต่ำสุดคือ 71.75 ได้แก่หน่วยทดลองที่ 1 โดยเติมโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 1.01 โดยน้ำหนัก รวมทั้งใช้อันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากับร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก (กลูเตนร้อยละ 1.01โดยน้ำหนัก, สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก) ซึ่งผลการแทนค่าสมการสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.4)

แสดงกราฟที่ได้จากการทำนายโดยสมการ ดังรูปที่ 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3D Contour Plot

%cooking yield = 68.95 + 19.86 (Gluten *Phosphate) + 1.87 (Soy Protein Isolate)



รูปที่ 4.5 ทำนายผลของอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศมีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตที่ได้

เมื่อพิจารณากราฟจะเห็นว่าค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (cooking yield) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร่วมกัน มากกว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แสดงว่ากลูเตนเป็นสารยึดเกาะ (binder) มีผลต่อการสร้างพันธะที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงในผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศ โดยสารกลูเตนในผลิตภัณฑ์จะฟอร์มตัวเป็นโครงร่างที่ดีกับน้ำ และมีสมบัติการยึดเกาะกับโปรตีนของเนื้อได้ดีจึงทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้สูง (Damodarm, 1996) ส่วนสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตมีหน้าที่ช่วยในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยเนื้อที่ผ่านความร้อนสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีการสูญเสียน้ำได้น้อย โดยสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อทำให้โมเลกุลของเนื้อสานเป็นตาข่ายสามารถกั้นไม่ให้เลือดและของเหลวในเนื้อไหลออกมาอีกทั้งยังช่วยทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อดีขึ้น และเพิ่มรสชาติให้ดียิ่งขึ้น (เยาวลักษณ์, 2536) ดังนั้นการใช้กลูเตนร่วมกับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตจะทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้สูงขึ้นมาก ส่วนผลของโปรตีนถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สกัดนั้น พิจารณาจากกราฟพบว่าจะต้องเติมในปริมาณที่มากกว่ากลูเตนกับ สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตจึงทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ที่สูง เพราะโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะเกิดการสร้างพันธะเคมีกับเนื้อได้น้อยกว่ากลูเตน เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีสมบัติยึดหยุ่นน้อยกว่า (Baird, 1981)

4.2.2.2 ค่าร้อยละการหดตัว (shrinkage)

ผลการทดลองหาค่าร้อยละการหดตัวของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส ซึ่งได้แสดงค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการที่ 4.2 ดังตารางที่ 4.4

เปรียบเทียบการใช้สารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดคือโปรตีนถั่วเหลืองสกัด, กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่าค่าร้อยละการหดตัวมีค่าขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างกลูเตนกับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตสมการที่ได้คือ

$$\% \text{ shrinkage} = 18.39 - 7.54\,(\text{Gluten}^* \text{ Phosphate}) - 8.44\,(\text{Soy Protein Isolate}^* \text{ Phosphate})$$

$$R^2 = 0.80 \qquad \text{(สมการที่ 4.3)}$$

จากสมการพบว่าค่าร้อยละการหดตัวขึ้นอยู่กับอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกลูเตนกับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตถึงร้อยละ 80 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาจากเครื่องหมายสมการ พบว่าอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตมีผลมากกว่าอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต โดยการเติมกลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตลงไปนั้นจะมีผลทำให้ค่าร้อยละหดตัวมีค่าลดลงมากกว่า

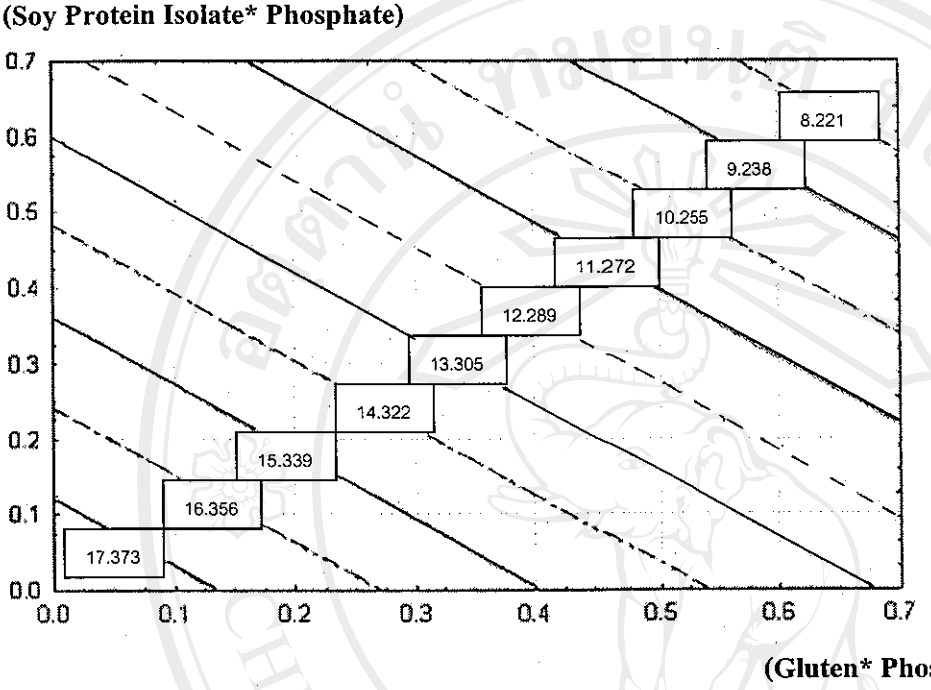
เมื่อแทนค่า (soy protein isolate, gluten, phosphate) ที่ทำการผันแปรลงในสมการที่ 4.3 พบว่าค่าร้อยละการหดตัวสูงสุดคือ 17.74 ได้แก่หน่วยทดลองที่ 1 โดยมีการใช้อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก และใช้อันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ส่วนค่าต่ำสุดคือ 8.26 ได้แก่หน่วยทดลองที่ 8 โดยมีการใช้อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดกับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.64 โดยน้ำหนัก และใช้อันตรกิริยาระหว่างกลูเตนกับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.64 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการแทนค่าสมการสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.4)

แสดงกราฟที่ได้จากการทำนายโดยสมการ ดังรูปที่ 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3D Contour Plot

% shrinkage =18.39 –7.54 (Gluten* Phosphate) – 8.44 (Soy Protein Isolate* Phosphate)



รูปที่ 4.6 ทำนายผลจากอันตรกริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และอันตรกิริยาโปรตีนถั่วเหลือง กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตต่อค่าร้อยละการหดตัว

เมื่อพิจารณาจากกราฟ พบว่าผลจากอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกลูเตนกับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตทำให้ค่าร้อยละการหดตัว (shrinkage) ลดลงมากกว่าผลจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส แสดงว่ากลูเตนมีผลต่อการสร้างพันธะที่แข็งแรงในผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศ เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านความร้อนสูงโครงสร้างของพันธะจึงยึดเกาะกันอย่างถาวร ดังนั้นผลิตภัณฑ์เนื้อจึงมีค่าการหดตัวน้อย (Shuwenburg, 1984) ส่วนผลของอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตมีอิทธิพลน้อยกว่าเพราะโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเมื่อผ่านความร้อนจะเกิดเจลขึ้น ซึ่งมีความสามารถในการยึดเกาะพันธะ (cross-link)ได้น้อยกว่าเจลของกลูเตนเมื่อผ่านความร้อนเช่นเดียวกัน จึงมีผลต่อค่าการหดตัวของเนื้อเมื่อผ่านความร้อน (Apichartsrangkoon, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.3 ความเหนียวของเจล (gel strength)

ความเหนียวของเจลของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซสเซียส โดยทำการวัดค่าแรงต้านการกดสูงสุด (maximum force, N) ซึ่งแสดงค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการที่ 4.2 ดังตารางที่ 4.4

เปรียบเทียบการใช้สารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิด คือโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่าค่าความเหนียวของเจล (gel strength) ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดกับกลูเตน สมการที่ได้คือ

Gel Strength = 10.65 + 9.01 (Gluten * Phosphate) + 0.21 (Soy Protein Isolate*Gluten)

$R^2 = 0.78$ (สมการที่ 4.4)

จากสมการพบว่าค่าความเหนียวของเจลขึ้นอยู่กับอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตถึง และอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับกลูเตนถึงร้อยละ 78 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาจากเครื่องหมาย และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ 4.4 โดยพบว่าอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตมีผลต่อค่าความเหนียวของเจล มากกว่าอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดกับกลูเตน

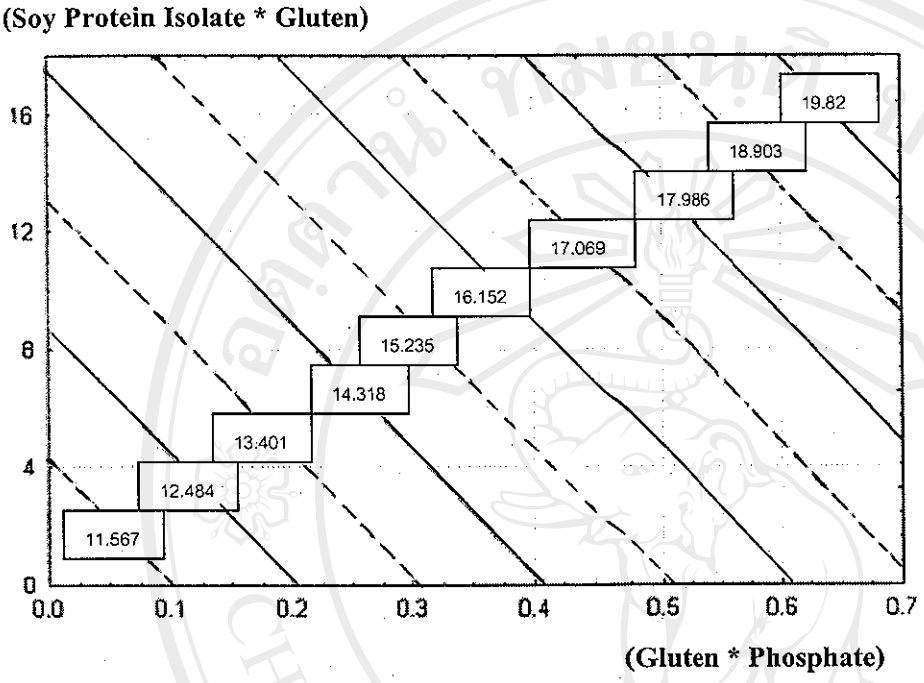
เมื่อแทนค่า (soy protein isolate, gluten, phosphate) ที่ทำการผันแปรลงในสมการที่ 4.4 พบว่าค่าความเหนียวของเจลสูงสุดคือ 19.20 นิวตันได้แก่หน่วยทดลองที่ 8 โดยใช้อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลือง กับกลูเตนร้อยละ 15.92 โดยน้ำหนัก (โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 3.99 โดยน้ำหนัก, กลูเตนร้อยละ 3.99 โดยน้ำหนัก) รวมทั้งใช้อันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากับร้อยละ 0.64 โดยน้ำหนัก (กลูเตนร้อยละ 3.99 โดยน้ำหนัก, สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และค่าต่ำสุดคือ 11.03 ได้แก่หน่วยทดลองที่ 1 โดยใช้อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลือง กับกลูเตนร้อยละ 1.02 โดยน้ำหนัก (โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 1.01 โดยน้ำหนัก, กลูเตนร้อยละ 1.01 โดยน้ำหนัก) รวมทั้งใช้อันตรกิริยาระหว่างกลูเตนกับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากับร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก (กลูเตนร้อยละ 1.01 โดยน้ำหนัก, สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก) ซึ่งผลการแทนค่าสมการสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.4)

แสดงกราฟที่ได้จากการทำนายโดยสมการ ดังรูปที่ 4.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3D Contour Plot

Gel Strength = 10.65 + 9.01 (Gluten * Phosphate) + 0.21 (Soy Protein Isolate * Gluten)



รูปที่ 4.7 ทำนายผลของอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับกลูเตน ต่อความเหนียวของเจล

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.7 พบว่าผลจากอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับสารโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์จะทำให้ค่าความเหนียวของเจล (gel strength) เพิ่มขึ้นมากกว่าอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับกลูเตน แสดงว่ากลูเตนมีสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binder) ที่ดีเพราะสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงเช่นพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้มีสมบัติการยืดหยุ่น (elastic) สูง เนื่องจากกลูเตนเป็นโปรตีนจากพืชซึ่งมีองค์ประกอบอยู่ 2 ส่วนหลัก ๆ คือโปรตีน glutelin มีมวลโมเลกุล 69 ถึง 88 Kda ทำหน้าที่เพิ่มความยืดหยุ่น และโปรตีน gliadin มีมวลโมเลกุล 30 – 50 Kda ทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะ (binding) (Tatham *et al*, 1990)

ส่วนสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ($Na_5P_3O_{10}$) เป็นสารช่วยปรับ pH ของเนื้อจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีการอุ้มน้ำได้มาก (Trout and Schmidt, 1982) เมื่อใช้สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร่วมกับกลูเตน (Damodarm, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)

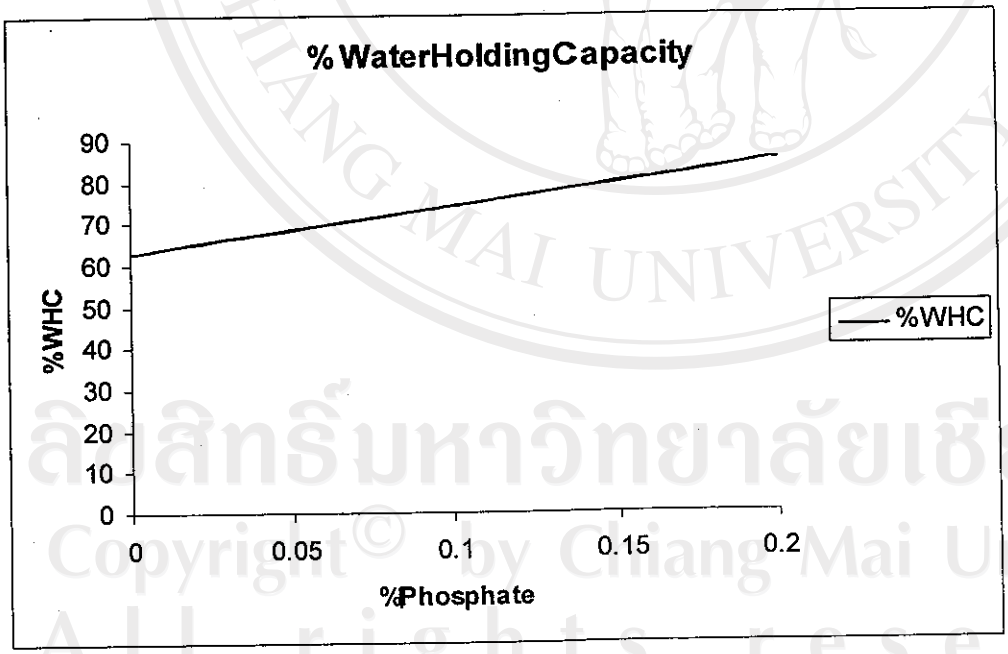
ความสามารถในการอุ้มน้ำของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการที่ 4.5 ดังตารางที่ 4.4

เปรียบเทียบสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดคือ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ขึ้นอยู่กับปริมาณสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตถึงร้อยละ 81 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่เหลือมาจากผลของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และกลูเตน เมื่อพิจารณาจากเครื่องหมาย และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ 4.5 สมการที่ได้คือ

$$\% \text{ Water Holding Capacity} = 62.99 + 111.15 * (\text{Phosphate}) \qquad \text{(สมการที่ 4.5)}$$

$$R^2 = 0.81$$

เมื่อทำการแทนค่า (phosphate) ในสมการที่ 4.5 พบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่สูงสุดคือร้อยละ 85.22 ได้แก่ หน่วยทดลองที่14 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง (ตารางที่4.4) แสดงกราฟที่ได้จากการทำนายโดยสมการ ดังรูปที่ 4.8



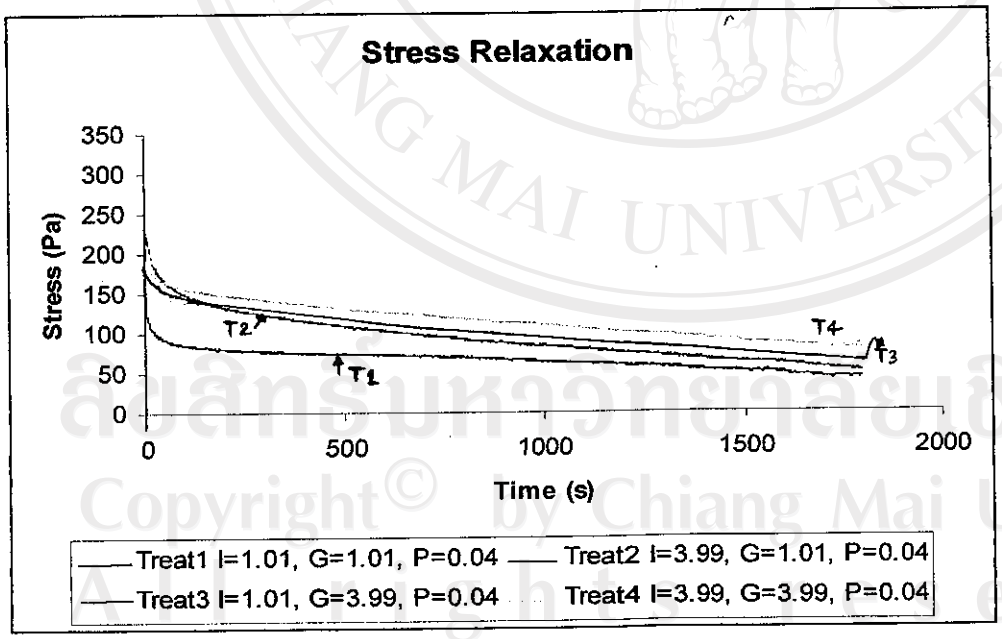
รูปที่ 4.8 ทำนายการเติมสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาจากกราฟ พบว่าการเพิ่มสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตลงในผลิตภัณฑ์จะทำให้ค่าความสามารถการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น แสดงว่าสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตทำให้เนื้อไม่สูญเสียน้ำหนักมากเกินไปขณะผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยทำให้เส้นใยโปรตีนยึดล้อมรอบโมเลกุลของน้ำโดยโมเลกุลของเนื้อสานเป็นตาข่ายสามารถกั้นไม่ให้เลือด และของเหลวในเนื้อไหลออกมา (เยาวลักษณ์, 2536) สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเป็นสารที่นิยมใช้เพิ่มค่าความสามารถการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อมากโดยมีผลเพิ่มค่า pH และปริมาณไอออนในผลิตภัณฑ์ (ionic strength) (Schmidt and Trout, 1982) ทางกฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกาได้อนุญาตให้ใช้สารฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์เนื้อ (de Holl, 1981)

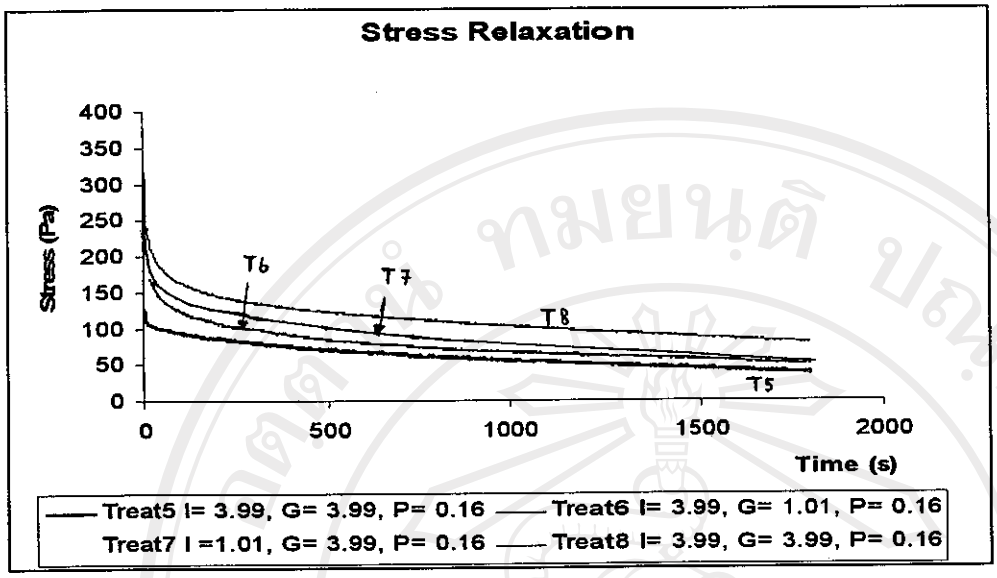
4.2.2.5 ค่าการพักความเค้น (stress relaxation)

ค่าการพักความเค้นของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาค่าความเค้นสมดุล (equilibrium stress) ซึ่งแสดงค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการที่ 4.6 ดังตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.11

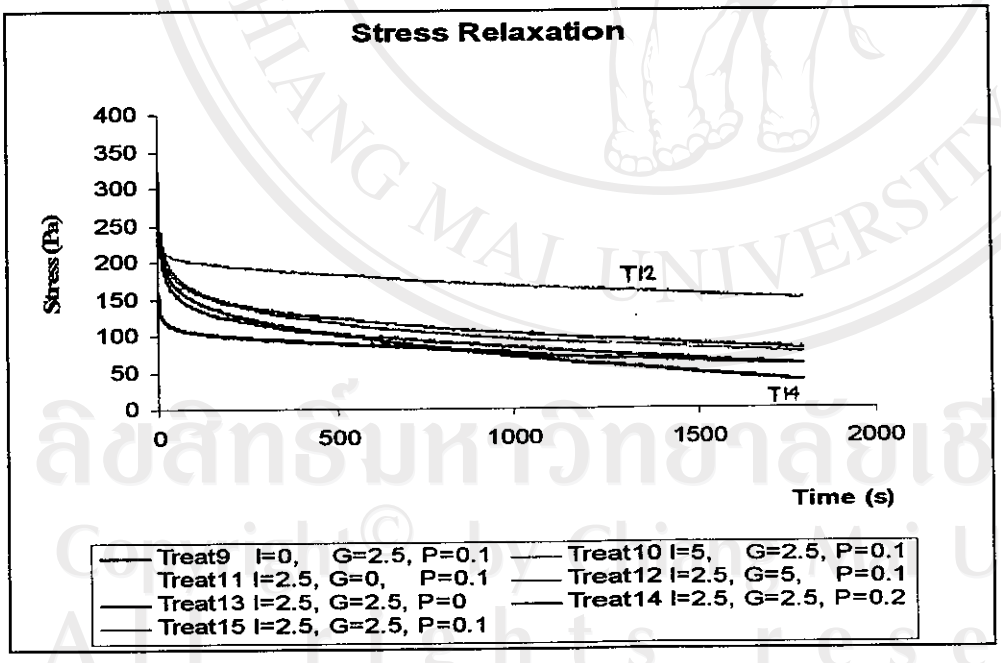


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าการพักความเค้น (stress relaxation) ของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศหน่วยการทดลองที่ 1 ถึง 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าการพักความเค้น (stress relaxation) ของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศหน่วยการทดลองที่ 5 ถึง 8



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการพักความเค้น (stress relaxation) ของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศในหน่วยการทดลองที่ 9 ถึง 18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.9 การทดสอบการพักความเค้นของหน่วยการทดลองที่ 1 ถึง 4 พบว่าหน่วยทดลองที่ 4 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตนร้อยละ 3.99โดยน้ำหนัก และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) สูงสุดโดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุล (equilibium stress, b_0) ที่สูงสุดคือ 120.42 ปาสคาลของกราฟ เมื่อเทียบกับในหน่วยทดลองที่ 1 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตนร้อยละ 1.01 และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) น้อยสุดคือ 75.85 ปาสคาลโดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุลที่ต่ำสุดจากกราฟ นอกจากนั้นหน่วยการทดลองที่ 1 ยังมีค่า λ_1 ที่ต่ำสุดอีกด้วย แสดงว่ามีสมบัติไหลหนืดต่ำกว่าหน่วยการทดลองอื่นๆ เพราะลูกสูบของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ลดลงด้วยระยะความเค้นที่สั้นกว่าในช่วงแรกของการทดสอบ และน้อยกว่าหน่วยทดลองอื่นๆด้วย ทั้งนี้อาจขึ้นกับปริมาณกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เติมน้อยกว่าจึงทำให้ชิ้นเนื้ออุ้มน้ำได้น้อยกว่าเป็นผลให้ค่าการไหลหนืดต่ำกว่า

รูปที่ 4.10 การทดสอบค่าการพักความเค้นของหน่วยการทดลองที่ 5 ถึง 8 พบว่าหน่วยการทดลองที่ 8 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และกลูเตนร้อยละ 3.99 โดยน้ำหนัก และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) สูงสุดโดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุล (equilibium stress, b_0) ที่สูงสุดของกราฟคือ 96.79 ปาสคาล และหน่วยทดลองที่ 5 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตนที่ระดับร้อยละ 1.01 โดยน้ำหนัก และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) น้อยที่สุด โดยสังเกตว่าความเค้นสมดุลที่ต่ำที่สุดของกราฟ คือ 77.85 ปาสคาล

นอกจากนั้นหน่วยการทดลองที่ 5 ยังมีค่า λ_1 ที่ต่ำสุดอีกด้วย แสดงว่ามีสมบัติไหลหนืดต่ำกว่าหน่วยการทดลองอื่นๆ เพราะลูกสูบของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ลดลงด้วยระยะความเค้นที่สั้นกว่าในช่วงแรกของการทดสอบ และน้อยกว่าหน่วยทดลองอื่นๆด้วย ทั้งนี้อาจขึ้นกับปริมาณกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เติมน้อยกว่าจึงทำให้ชิ้นเนื้ออุ้มน้ำได้น้อยกว่าเป็นผลให้ค่าการไหลหนืดต่ำกว่า

รูปที่ 4.11 การทดสอบค่าการพักความเค้น (stress relaxation) ของหน่วยการทดลองที่ 9 ถึง18 พบว่าหน่วยการทดลองที่ 12 เติมกลูเตนสูงที่สุดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) สูงสุดโดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุล (equilibium stress, b_0) จากกราฟคือ 152.83 ปาสคาล และในหน่วยการทดลองที่ 14 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และกลูเตนร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.2โดยน้ำหนัก มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) ต่ำสุด โดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุลจากกราฟคือ 76.13 ปาสคาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนั้นหน่วยการทดลองที่ 14 ยังมีค่า λ_1ที่ต่ำสุดอีกด้วย แสดงว่ามีสมบัติไหลหนืดต่ำกว่าหน่วยการทดลองอื่นๆ เพราะลูกสูบของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ลดลงด้วยระยะความเค้นที่สั้นกว่าในช่วงแรกของการทดสอบ และน้อยกว่าหน่วยทดลองอื่นๆด้วย ทั้งนี้อาจขึ้นกับปริมาณกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เติมน้อยกว่าจึงทำให้ชิ้นเนื้ออุ้มน้ำได้น้อยกว่าเป็นผลให้ค่าการไหลหนืดต่ำกว่า

เปรียบเทียบการใช้สารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิด คือโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่าค่าความเค้นสมดุล (Equilibium Stress, b_0) ขึ้ นอยู่กับปริมาณการเติมกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด โดยสมการที่ได้คือ

$$\text{Equilibium Stress } (b_0) = 60.11 + 15.348\,(\text{Gluten}) + 8.29\,(\text{Soy Protein Isolate}) \quad \text{(สมการที่ 4.6)}$$

$$R^2 = 0.77$$

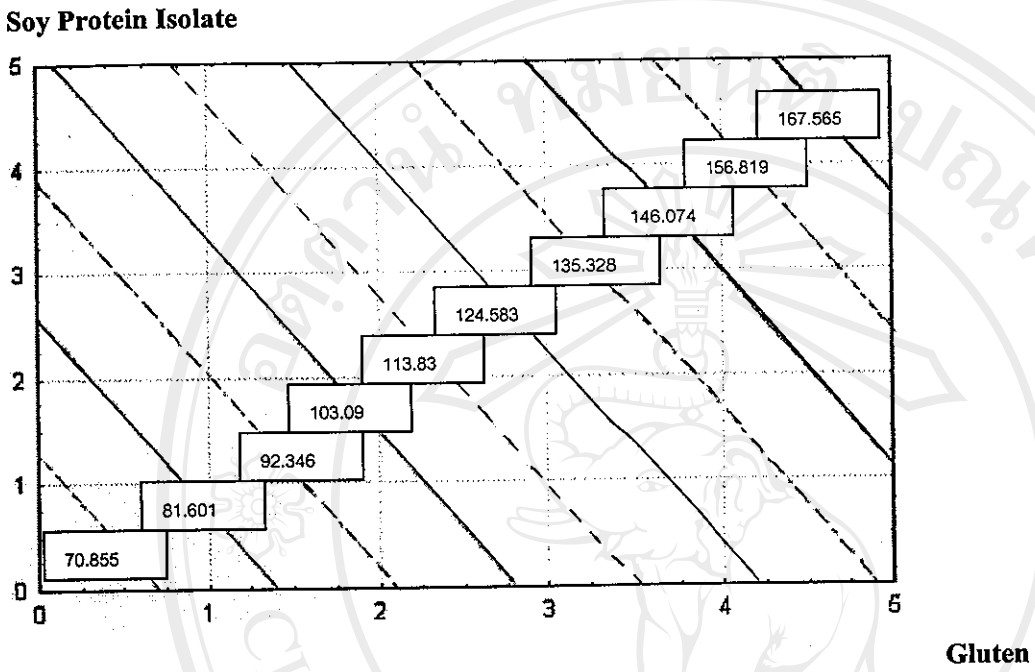
จากสมการพบว่าค่าความเค้นสมดุลขึ้นอยู่กับกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดถึงร้อยละ 77 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาจากเครื่องหมาย และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ 4.6 พบว่ากลูเตนมีผลต่อค่าความเค้นสมดุลมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

เมื่อแทนค่า (soy protein isolate, gluten) ที่ทำการผันแปรลงในสมการที่ 4.6 พบว่าค่าความเค้นสมดุลสูงสุดคือ 157.57 ปาสคาล ได้แก่หน่วยทดลองที่ 12 และต่ำสุดคือ 74.07 ปาสคาล ได้แก่หน่วยทดลองที่ 1 ซึ่งผลสอดคล้องกับการทดลอง (ตารางที่ 4.4)
แสดงกราฟที่ได้จากการทำนายโดยสมการ ดังรูปที่ 4.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3D Contour Plot

Equilibium Stress (b_0) = 60.11 + 15.348 (Gluten) + 8.29 (Soy Protein Isolate)



รูปที่ 4.12 ทำนายการเติมกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อค่าความเค้นสมดุลย์ (Equilibium Stress, b_0) ในเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศ

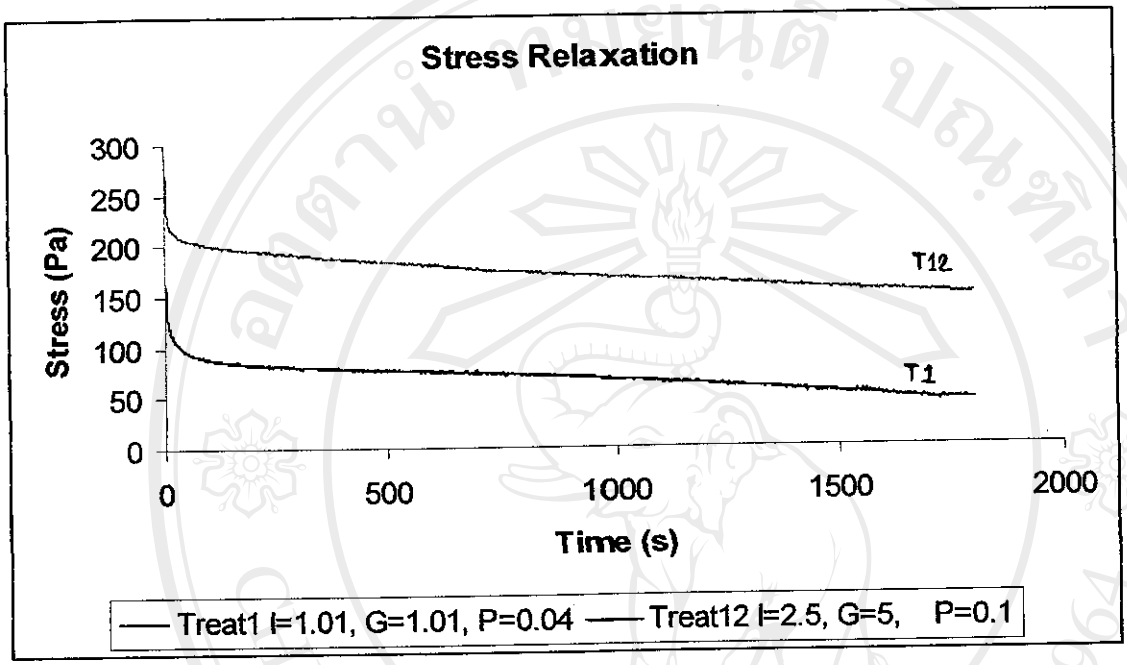
เมื่อพิจารณากราฟที่ 4.12 พบว่าการเติมปริมาณกลูเตนลงไปในเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศจะทำให้ค่าความเค้นสมดุลย์มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แสดงว่ากลูเตนทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) สูงเกิดโครงสร้างที่ถาวรสลายตัวได้ยากในขณะทดสอบ เนื่องจากกลูเตนมีสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binder) ที่ดี ส่วนโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีสมบัติเป็นสารยึดเกาะไม่ดีเท่ากลูเตน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ (Apichartsrangkoon, 2002)

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมของเบอร์เกอร์หน่วยทดลองที่ 1 และ 12

ผลการทดสอบการพักความเค้น (stress relaxation) หน่วยการทดลองที่ 1 และ12 ของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศ โดยหน่วยการทดลองที่ 1 มีการผันแปรโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 1.01 กลูเตนร้อยละ 1.01 และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.04

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และหน่วยการทดลองที่ 12 มีการผันแปรโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 2.5 กลูเตนร้อยละ 5 และสารโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตร้อยละ 0.1 เป็นตัวอย่างในการหาแบบจำลองที่เหมาะสมเนื่องจากต้องการเปรียบเทียบหน่วยทดลองที่มีค่าความเค้นสมดุลสูงที่สุด และต่ำที่สุด ดังรูปที่ 4.13



รูปที่4.13 ค่าการพักความเค้น (stress relaxation) ของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศในหน่วยทดลองที่ 1 และ12

จากกราฟการพักความเค้น (stress relaxation) ที่ได้จากการทดลองของหน่วยทดลองที่ 1 และ12 เมื่อแทนค่าในสมการของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell model) 1 องค์ประกอบซึ่งมีสปริง (spring) ต่อกับลูกสูบ (dashpot) และต่อขนานกับสปริงอิสระ (free spring) แล้ว plot ค่าเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากสมการแบบจำลอง และกราฟจากการทดลองจริง พบว่ากราฟหน่วยทดลองที่ 1 และหน่วยทดลองที่ 12 ไม่สอดคล้องกันกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบ จึงต้องมีการปรับค่าตัวแปรเพิ่มขึ้นโดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยการทดลองที่ 1 มีการเพิ่มตัวแปรเข้าไปอีก 4 ตัวคือ σ_e = 165, $(\sigma_0 - \sigma_c)_1$ = 81, $(\sigma_0 - \sigma_c)_2$ = 22, $(\sigma_0 - \sigma_c)_3$ = 118 เมื่อแทนค่า $\lambda_{rel\,1}$ = 25, $\lambda_{rel\,2}$= 1,069 และ$\lambda_{rel\,3}$ = 1,219 ซึ่งสามารถหาค่าตัวแปรได้ดังนี้

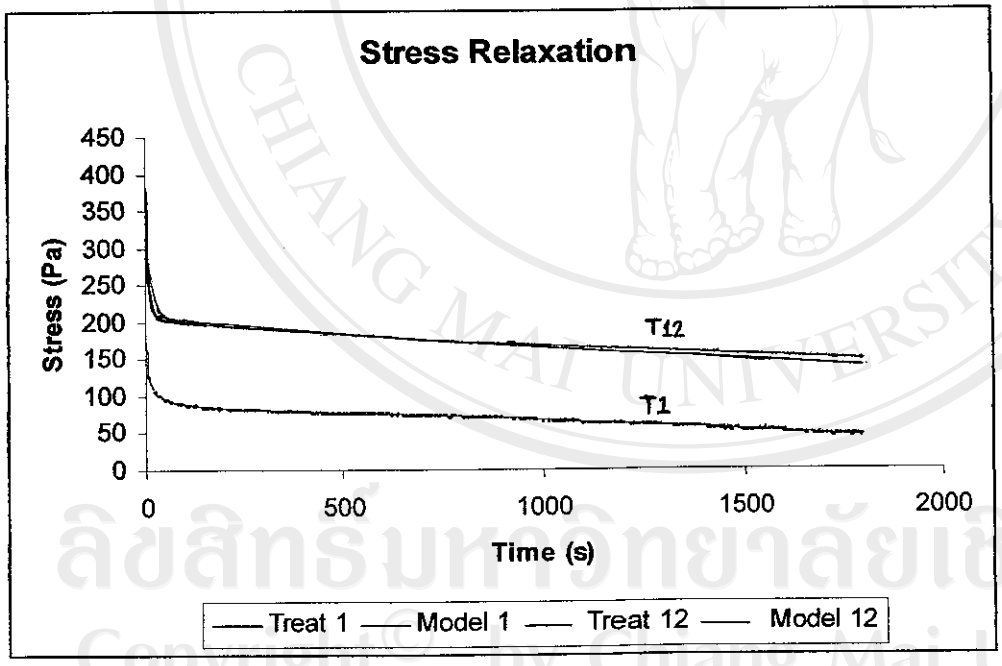
$$\sigma(t) = 145 + (81)\exp\left[\frac{-t}{(25)}\right] + (22)\exp\left[\frac{-t}{(1{,}069)}\right] + (118)\exp\left[\frac{-t}{(1{,}219)}\right]$$

(สมการที่ 4.7)

หน่วยการทดลองที่12 มีการปรับค่าตัวแปรและมีการเพิ่มตัวแปรเข้าไปอีก4 ตัวคือ σ_e = 390 $(\sigma_0 - \sigma_c)_1$ = 59.67, $(\sigma_0 - \sigma_c)_2$ = 19.15, $(\sigma_0 - \sigma_c)_3$ = 35.14 เมื่อแทนค่า λ_{rel1} = 97, λ_{rel2} = 1,495 และ λ_{rel3} = 1,740 ซึ่งสามารถหาค่าตัวแปรได้ดังนี้

$$\sigma(t) = 345 + (59.67)\exp\left[\frac{-t}{(97)}\right] + (19.15)\exp\left[\frac{-t}{(1{,}495)}\right] + (35.14)\exp\left[\frac{-t}{(1{,}740)}\right]$$

(สมการที่ 4.8)

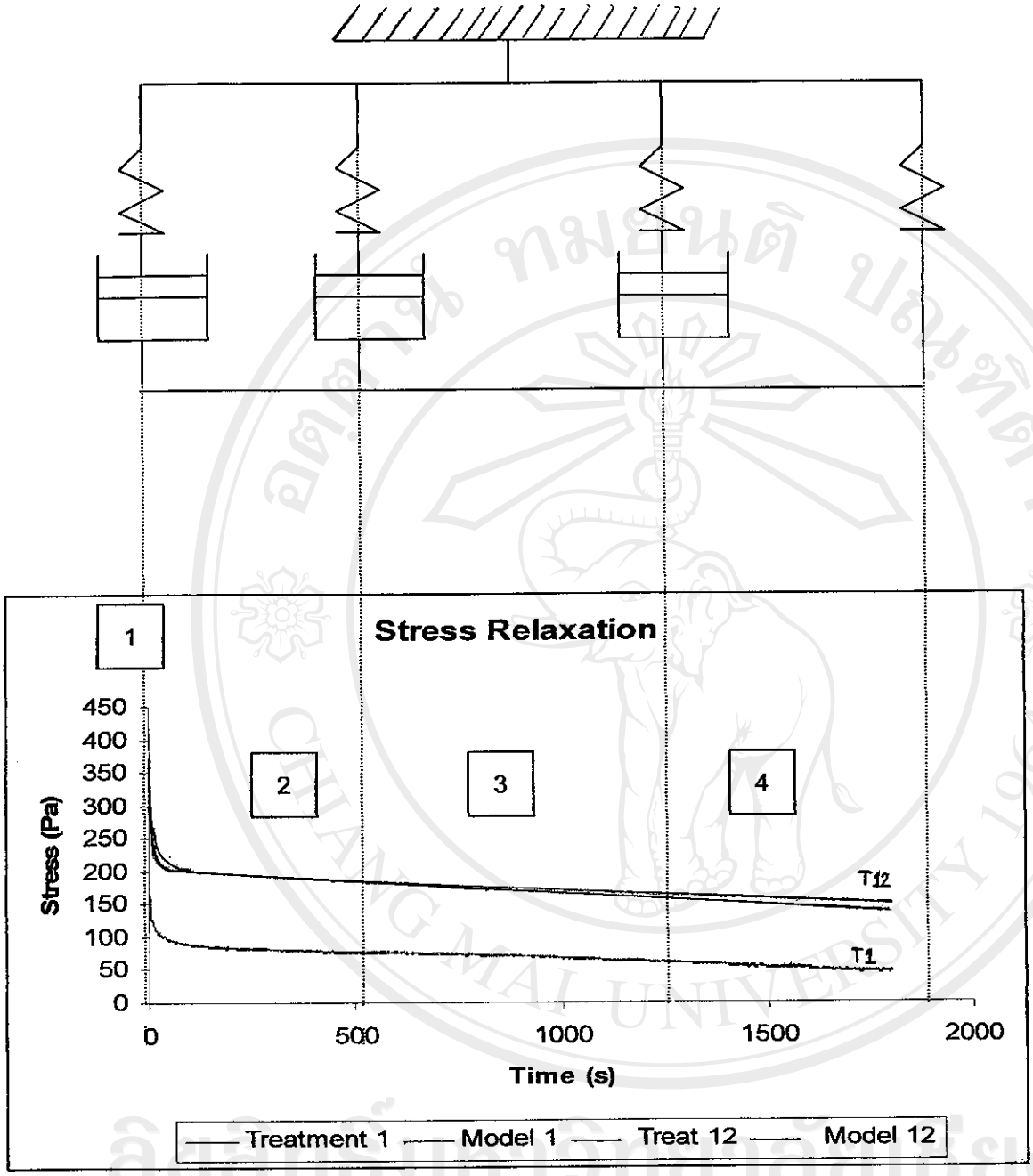


รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบกราฟการพักความเค้น (stress relaxation) จากการทดลองของหน่วยทดลองที่ 1 และ12 เทียบกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell model) 3 องค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองของหน่วยทดลองที่ 1 และ12 พบว่าแบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell model) 3 องค์ประกอบ มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากกราฟการพักความเค้น (stress relaxation) ระหว่างการทดลอง และจากสมการแบบจำลองมีรูปแบบที่ประกบกันพอดี ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการอธิบายถึงสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองของหน่วยทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่าความเค้นสมดุล (equilibrium stress) ต่ำกว่าแบบจำลองของหน่วยทดลองที่ 12 มาก (ตารางที่ 4.4) แสดงว่าหน่วยทดลองที่ 12 มีความยืดหยุ่นสูงกว่าหน่วยทดลองที่ 1 มากเพราะมีค่าความเค้นสมดุลสูงกว่ามากนอกจากนั้นค่า λ_1 ของหน่วยทดลองที่ 12 ยังมีค่ามากกว่าหน่วยทดลองที่ 1 รวมทั้ง λ_2 และλ_3 ยิ่งมีค่ามากด้วยเช่นกันแสดงว่าหน่วยทดลองที 12 นอกจากมีค่าความยืดหยุ่นที่สูงกว่าแล้ว ยังมีค่าการไหลหนืดที่มากกว่าด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณโปรตีนถั่วชนิดสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรพอลีฟอสเฟต ของหน่วยทดลองที่ 12 มากกว่าหน่วยทดลองที่ 1 จึงทำให้เบอร์เกอร์หน่วยทดลองที่ 12 ดูดซับน้ำได้มากกว่า และแสดงลักษณะไหลหนืดที่สูงกว่าออกมา ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ และค่าร้อยละการหดตัว (ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีค่าเท่ากับหน่วยทดลองที่ 1 และ 12 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่4.15 กราฟการพักความเค้น (stress relaxation) ของตัวอย่างเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศหน่วยทดลองที่1สัมพันธ์กับองค์ประกอบของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell model) 3 องค์ประกอบ

รูปกราฟการพักความเค้น (stress relaxation) ของหน่วยทดลองที่ 1 และ12 ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบต่อขนานกับสปริงอิสระ 1 องค์ประกอบ ซึ่งแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แมกซ์เวลล์นั้นประกอบด้วยสปริง (spring) ใช้แทนสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) และลูกสูบ (dashpot) ใช้แทนสมบัติความไหลหนืด (viscous) ต่อกันแบบอนุกรม เมื่อสปริงเคลื่อนที่จะทำให้ลูกสูบเคลื่อนลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ลักษณะไหลหนืดของแบบจำลองแมกซ์เวลล์เด่นกว่าลักษณะยืดหยุ่น relaxation curve สามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือเมื่อกำหนดการผิดรูปของวัสดุคงที่ร้อยละ 3 จากนั้น plot กราฟระหว่างความเค้น (stress) กับเวลา (time) พบว่า

ช่วงที่ 1 ความเค้น (stress) ลดลงเป็นฟังก์ชั่นขึ้นกับเวลาจากกราฟพบว่าช่วงนี้ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ เป็นช่วงที่ลูกสูบแสดงสมบัติเด่นกว่าสปริง ลูกสูบเกิดการไหลอย่างกระทันหัน สังเกตได้จากความชันของกราฟที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างจึงแสดงสมบัติการไหลหนืดมากกว่าความยืดหยุ่น ในช่วงนี้ตัวอย่างไม่มีความสามารถในการคืนรูปได้เนื่องจากสมบัติความไหลหนืดไม่มีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานเหมือนของแข็ง จึงทำให้พลังงานสูญหายไปในส่วนโครงสร้างของตัวอย่างช่วงนี้เกิดการคลายตัวของโครงสร้างของพันธะบางส่วน เช่น พันธะโคเวเลนต์ ในเนื้อนกกระจอกเทศ

ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 กราฟช่วงนี้ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 องค์ประกอบ ช่วงนี้ ความเค้น (stress) ลดลงอย่างช้า ๆ จนเกือบเข้าสู่จุดสมดุลย์ (equilibrium stress) สังเกตได้จากความชันของกราฟลดน้อยลง ตัวอย่างยังแสดงสมบัติการไหลหนืดเด่นชัดกว่าสมบัติวิสโคอิลาสติก

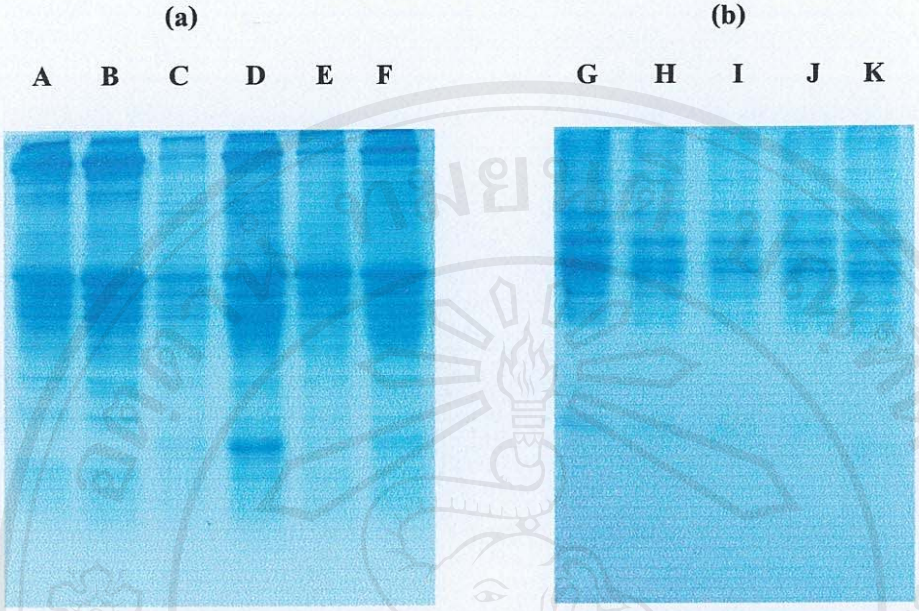
ช่วงที่ 4 เป็นช่วงที่ความเค้น (stress) มีค่าค่อนคงที่ จนถึงจุดความเค้นสมดุลย์ (equilibrium stress) ที่วินาทีที่ 1,800 จากกราฟช่วงนี้ประกอบด้วยสปริงอิสระตัวเดียว เป็นช่วงที่ตัวอย่างแสดงสมบัติยืดหยุ่นเด่นชัด ถ้าค่าความเค้นที่จุดสมดุลย์ (equilibrium stress) มีค่ามากแสดงว่าตัวอย่างแสดงสมบัติยืดหยุ่นสูง แต่การคืนรูปนั้นไม่สามารถกลับสู่สภาพเริ่มต้นได้ เนื่องจากลักษณะของการไหลหนืดหน่วงเอาไว้ (Sherman, 1970)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 ศึกษาอิเลคโตโฟลิซิส (electrophoresis)

ศึกษาอิเลคโตรโฟลิแกรม (electrophoregrams) ของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศที่เป็นส่วนผสมดิบ และผ่านการทำให้สุกโดยมีการเติมสารยึดเกาะ2 ชนิดคือโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน ทั้งนี้ได้ศึกษาผลของการเติมสาร SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) และสาร 2 – mercapto ethanol ในสารละลายบัพเฟอร์เพื่อย่อยโปรตีนได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 14.16 (a) เปรียบเทียบอิเลคโตรโฟลิแกรม (electrophoregrams) ของส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบ ใช้สารละลาย SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) และสาร 2 – mercapto ethanol ย่อยสลายโปรตีน

(b) เปรียบเทียบอิเลคโตรโฟลิแกรม (electrophoregrams) ของส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบ โดยไม่ใช้สารSDS (Sodium Dodecyl Sulfate) (Native-PAGE)

A = เนื้อนกกระจอกเทศดิบ

B = เนื้อนกกระจอกเทศดิบเติมสาร 2 – mercapto ethanol

C = เบอร์เกอร์ดิบเติมกลูเตนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

D = เบอร์เกอร์ดิบเติมกลูเตน และสาร 2 – mercapto ethanol

C = เบอร์เกอร์ดิบเติมโปรตีนถั่วเหลือง ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

F = เบอร์เกอร์ดิบเติมโปรตีนถั่วเหลืองและสาร 2- mercapto ethanol

G = เนื้อนกกระจอกเทศดิบ

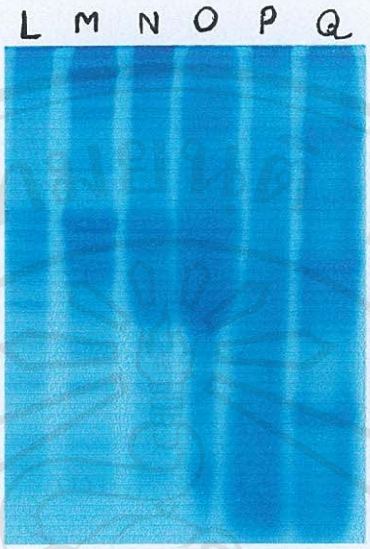
H = เบอร์เกอร์ดิบเติมกลูเตนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

I = เบอร์เกอร์ดิบเติมโปรตีนถั่วเหลือง ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

J = เบอร์เกอร์ผ่านการทำให้สุกเติมกลูเตน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

K = เบอร์เกอร์ผ่านการทำให้สุกเติมโปรตีน ถั่วเหลืองร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบอิเลคโตรโฟลิแกรม (electrophoregrams) ของเบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกโดยใช้สาร SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) และสาร2 – mercapto ethanol ช่วยย่อยสลายโปรตีน

L = เนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุก

M = เนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกละลายด้วยสาร 2 – mercapto ethanol

N = เบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกเติมกลูเตนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

O = เบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกเติมกลูเตนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และละลายด้วยสาร 2 – meacapto ethanol

P = เบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

Q = เบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และละลายด้วยสาร2 – mercapto ethanol

จากรูปที่ 4.16 (a) พิจารณาจากอิเลคโตรโฟลิแกรม (electrophoregrams) A และB ซึ่งเป็นแถบของเนื้อนกกระจอกเทศดิบที่ละลายในสารละลาย SDS (sodium dodecyl sulfate) และสาร SDS กับสาร 2 – mercapto ethanol พบว่าแถบของโปรตีนที่แยกได้ไม่แตกต่างกันแสดงว่าไม่มีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ในเนื้อนกกระจอกเทศดิบ แต่เมื่อเทียบกันรูปที่ 4.16 (b) แถบ G ซึ่งเป็นเนื้อนกกระจอกเทศดิบเช่นเดียวกัน โดยไม่ได้ผ่านการย่อยสลายด้วยสารละลาย SDS

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Sodium Dodecyl Sulfate) ซึ่งโดยปกติสารละลาย SDS ย่อยสลายพันธะไฮโดรโฟบิค (hydrophobic) ปรากฏว่าแถบ A และB มีการย่อยสลายโปรตีนออกมามากกว่าแถบ G แสดงว่าแถบ A และB มีการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิค

พิจารณาอิเลคโตรโฟลิแกรม (electrophoregrams) C และD ซึ่งเป็นแถบของส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบที่มีการเติมกลูเตนจะเห็นว่าแถบ C ที่ไม่ได้ใส่สารละลาย 2 – mercapto ethanol พบว่าแถบอิเลคโตรโฟลิแกรมที่ได้มีสีจางกว่าแถบ D ซึ่งมีการเติมสาร 2 – mercapto ethanol เพื่อย่อยสลายพันธะไดซัลไฟด์แสดงว่า cross-link ที่เกิดจากพันธะไดซัลไฟด์อาจมาจากกลูเตนเมื่อเทียบกับแถบ H ซึ่งเป็นส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบที่ไม่ได้เติมสาร SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) จะเห็นว่าแถบทั้ง C และD มีปริมาณโปรตีนละลายออกมามากกว่าแสดงว่ามีการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิคเพิ่มขึ้นในส่วนของกลูเตน ในทำนองเดียวกันกับแถบ E และF ซึ่งเป็นส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบที่มีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดลงไปเมื่อเทียบกับแถบ I ผลปรากฏเช่นเดียวกับส่วนผสมเบอร์เกอร์ดิบที่มีการเติมกลูเตน คือ มีการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิค และพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Apichartsrangkoon and Ledward (2002)

จากรูป 4.17 เมื่อพิจารณาจากอิเลคโตรโฟลิแกรมซึ่งเป็นเบอร์เกอร์ที่ผ่านการทำให้สุกแล้วพบว่าแถบ L และ M ซึ่งเป็นอิเลคโตรโฟลิแกรมของเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการทำให้สุกโดยละลายในสารละลาย SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) และสาร 2 – mercapto ethanol จะเห็นว่าแถบของโปรตีนมีความแตกต่างกันโดยแถบ M จะมีการย่อยสารโปรตีนออกมามากกว่าแสดงว่าหลักจากการทำเนื้อนกกระจอกให้สุกแล้วอาจมีการก่อพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นจากการเสียสภาพโดยความร้อนในทำนองเดียวกับผลของแถบ N และO ซึ่งเป็นเบอร์เกอร์ที่มีการเติมกลูเตนลงไป รวมทั้งแถบ P และ Q ซึ่งเป็นเบอร์เกอร์สุกที่มีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดลงไปสามารถสรุปได้ว่าความร้อนเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้นซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Apichartsrangkoon and Ledward (2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.4 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสโดยนำเบอร์เกอร์หน่วยทดลองที่ได้ค่าการทดสอบสมบัติทางกายภาพสูงที่สุดจากการทดลองในข้อ 4.2.2.1 ถึง 4.2.2.5 ได้แก่หน่วยทดลองที่ 8 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 3.99, 3.99 และ 0.16 โดยน้ำหนักตามลำดับ หน่วยทดลองที่ 12 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 2.5, 5 และ 0.1 โดยน้ำหนักตามลำดับ และหน่วยทดลองที่ 14 เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 2.5, 2.5 และ 0.2 โดยน้ำหนักตามลำดับ เปรียบเทียบกับตัวอย่างเบอร์เกอร์ที่ไม่มีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic Scale) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศหน่วยทดลองที่มีค่าการทดสอบสมบัติกายภาพสูงที่สุด

ปัจจัยคุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย			
	สิ่งทดลอง			
	เบอร์เกอร์ที่ไม่เติมสารยึดเกาะ	8	12	14
สี	4.8^{b}±0.7	6.5^{a}±0.9	6.5^{a}±0.5	6.8^{a}±0.8
กลิ่น	6.6^{a}±0.5	7.0^{a}±0.5	5.2^{b}±0.8	7.5^{a}±0.7
ลักษณะเนื้อสัมผัส	4.4^{c}±0.5	7.8^{a}±0.4	7.8^{a}±0.5	6.2^{b}±0.6
รสชาติ	5.6^{b}±0.8	6.8^{a}±0.7	5.4^{b}±0.7	7.0^{a}±0.8
การยอมรับรวม	5.4^{b}±0.7	7.1^{a}±0.5	5.6^{b}±0.6	6.8^{a}±0.6

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน (trained panelist) จำนวน 10 คน ให้คะแนนความชอบ ประเมินปัจจัยคุณลักษณะทางด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวม ผลการทดสอบมีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.4.1 สี

ลักษณะทางด้านสีของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศในหน่วยทดลองที่ 8, 12 และ 14 เปรียบเทียบกับตัวอย่างเบอร์เกอร์ควบคุมที่ไม่เติมสารยึดเกาะ และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เพื่อนำหน่วยทดลองที่ 8, 12 และ 14 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ LSD ซึ่งแสดงในตาราง 4.9 พบว่าเบอร์เกอร์ในหน่วยทดลอง 8, 12 และ 14 มีปัจจัยคุณลักษณะด้านสีไม่แตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในลักษณะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากการที่มีการเพิ่มสารยึดเกาะ 2 ชนิด คือโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน มีผลต่อสีของเนื้อที่เสียสภาพหลังการทอด ทำให้เกิดสีน้ำตาลไม่เข้มมากน่ารับประทาน ซึ่งเปรียบเทียบกับเบอร์เกอร์ชุดควบคุมจะมีเฉพาะโปรตีนของเนื้อที่เสียสภาพ (denature) มีลักษณะออกคล้ำจึงไม่น่ารับประทาน ส่วนสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตมีผลต่อความคงทนของสีโดยคุม pH ให้อยู่ในช่วง 6.0-6.6 จึงทำให้เนื้อที่ผ่านความร้อนมีสีที่น่ารับประทาน (เยาวลักษณ์, 2536)

ดังนั้นหน่วยทดลองที่ 8, 12 และ 14 จึงมีคะแนนการยอมรับสีที่สูงกว่าเบอร์เกอร์ชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

4.2.2.7.2 กลิ่น

เบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศในหน่วยทดลองที่ 8, 12 และ 14 เปรียบเทียบกับตัวอย่างเบอร์เกอร์ควบคุมที่ไม่เติมสารยึดเกาะ และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยหน่วยทดลองที่ 14 มีคะแนนการยอมรับ (7.5 คะแนน) สูงกว่าตัวอย่างควบคุม (6.5 คะแนน) และตัวอย่างอื่น ๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ LSD แสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่า กลิ่นก็มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เช่นเดียวกัน แสดงว่าหน่วยทดลองที่ 14 มีกลิ่นที่ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสารยึดเกาะ (binder) ส่วนในหน่วยทดลองที่ 12 มีการเติมกลูเตนสูงสุด (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) คะแนนการยอมรับจะลดต่ำมาก เนื่องจากมีกลิ่นกลูเตนที่แรงเกินไป

4.2.2.7.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศในหน่วยทดลองที่ 8, 12 และ 14 เปรียบเทียบกับตัวอย่างเบอร์เกอร์ควบคุมที่ไม่เติมสารยึดเกาะและสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยหน่วยทดลองที่ 8 และ 12 มีคะแนนการยอมรับ (7.9 และ 7.8 ตามลำดับ) ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (4.3 คะแนน) และหน่วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดลองที่ 14 (6.4 คะแนน) เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ LSD แสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าเนื้อสัมผัสก็มีความแตกต่างกันจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นกัน แสดงว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเบอร์เกอร์โดยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตนจะเพิ่มสมบัติของความเหนียว และยืดหยุ่น (elastic) ส่วนสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตจะช่วยอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ทำให้ลดลักษณะเส้นใย (fiber characteristic) ลงได้จึงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการทดลองที่กล่าวมาในข้างต้น

4.2.2.7.4 รสชาติ

พบว่า ในหน่วยทดลองที่ 8 และ 14 มีคะแนนการยอมรับสูง (6.8 และ 7.0 คะแนน ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ LSD ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่ามีความแตกต่างจากเบอร์เกอร์ควบคุม (5.5 คะแนน) และหน่วยทดลองที่ 12 มีคะแนนการยอมรับน้อยที่สุด (5.2 คะแนน) แสดงว่าในหน่วยทดลองที่ 12 ซึ่งมีการเติมกลูเตนไปมากจะทำให้รสชาติของเบอร์เกอร์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

4.2.2.7.5 การยอมรับรวม

การยอมรับรวมพบว่าในหน่วยทดลองที่ 8 มีคะแนนการยอมรับสูงสุด (7.1 คะแนน) เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ LSD ดังแสดงตารางที่ 4.9 ก็พบว่ามีความแตกต่างจากตัวอย่างเบอร์เกอร์ควบคุม และหน่วยทดลองที่ 12 ซึ่งมีคะแนนการยอมรับรวมที่ต่ำ (5.3 และ 5.7 คะแนนตามลำดับ) โดยการยอมรับรวมนี้เป็นผลจากปัจจัยคุณลักษณะทางสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติที่นำมาพิจารณาประกอบร่วมกันของผู้ประเมิน

จากผลการศึกษาเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศทั้ง 4 หน่วยทดลอง (รวมตัวอย่างเบอร์เกอร์ควบคุม) พบว่าหน่วยทดลองที่ 8 มีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน ร้อยละ 3.99 โดยน้ำหนักและสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก รวมทั้งหน่วยทดลองที่ 14 มีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กลูเตน ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก จะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนหน่วยทดลองที่ 12 ที่มีการเติมกลูเตนสูงสุด (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะกลิ่นและรสชาติ เนื่องจากกลูเตนมีมากจึงทำให้กลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงจากเดิมไปมาก ดังนั้นหน่วยทดลองที่ 8 และ 14 จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการผลิตเบอร์เกอร์เศษเนื้อนกกระจอกเทศต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved