

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ ได้แก่ เจลาติน type A 250 bloom strength และเพกทินชนิดเมทอกซีสูงชนิดแข็งตัวช้า (slow set pectin) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในกลูโคสไซรัป DE 40 ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของเจลาตินและเพกทิน และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในกลูโคสไซรัป

วัตถุดิบ	ความชื้น (%)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%)
เจลาติน type A 250 bloom strength	13.83 ± 0.05	-
เพกทินชนิดเมทอกซีสูงแบบเซตตัวช้า	9.04 ± 0.04	-
กลูโคสไซรัป DE 40	-	80.2 ± 0.0

ในการทดลองนี้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในกลูโคสไซรัปมีค่าเท่ากับ 80.2% ซึ่งตามมาตรฐานทางการค้ำนั้นกำหนดว่ากลูโคสไซรัปต้องมีสารแห้ง (dry substance) ไม่น้อยกว่า 70% และตามปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 80-82% (สายสนม และ สิริ, 2539)

นอกจากปริมาณความชื้นของวัตถุดิบมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตกัมมีเซลลีแล้ว สมบัติทางเคมีบางประการของสารก่อเจล ได้แก่ เจลาตินและเพกทิน ก็มีความสำคัญอย่างมากต่อการเกิดเจลเช่นกัน โดยข้อมูลพื้นฐานของเจลาติน ได้แก่ ชนิด (type A หรือ type B) และค่า bloom strength จะมีความสัมพันธ์กับค่า isoelectric point ของโปรตีนและความแข็งแรงของเจลตามลำดับ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ขาดอุปกรณ์สำหรับทดสอบค่า bloom strength จึงทำให้ไม่

สามารถทำการทดสอบยืนยันค่าดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตาม ได้นำข้อมูลที่บริษัทผู้ขายให้มาพร้อมกับวัตถุดิบใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในงานวิจัยครั้งนี้

สำหรับเพกทินที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้เพกทินชนิดเมทอกซีสูงแบบเซตตัวช้า และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณเมทอกซี โดยวิธีการไทเทรต ตามวิธีของ Ranganna (1991) พบว่ามีปริมาณเมทอกซีเท่ากับ $62.3 \pm 0.03\%$ โดยปกติปริมาณเมทอกซีในเพกทินชนิดเมทอกซีสูงจะมีค่าอยู่ในช่วง 55-75% และสำหรับเพกทินชนิดเมทอกซีสูงที่แข็งตัวช้าจะมีค่าเมทอกซีโดยประมาณอยู่ที่ 62% (Seymour and Knox, 2002) ซึ่งเหมาะสมในการนำมาใช้ทำเยลลีและผลิตภัณฑ์ลูกกวาดชนิดอื่นๆ (May, 1997)

4.2 ผลของพีเอช ความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทินต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี

ค่าพีเอชของส่วนผสม และความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทิน เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดเจลและสมบัติของเจลกัมมีเยลลีที่ผลิตได้ ในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาค่าพีเอชของส่วนผสมที่ 3.2 และ 3.8 ความเข้มข้นเจลาตินที่ 5.0% และ 7.0% และความเข้มข้นของเพกทินที่ 0.5% และ 1.0% ซึ่งเป็นค่าระดับต่ำและระดับสูงของแผนการทดลอง ตามลำดับ โดยวางแผนการทดลองเป็นแบบ 2^3 Factorial Experiment with Central Composite Design กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลทรายคงที่เท่ากับ 25% กลูโคสไซรัป 25% และกลีซินสับปะรด 1.2% ของส่วนผสมทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.5

4.2.1 ความหนืดของส่วนผสม

ผลการวัดความหนืดของส่วนผสมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 70% ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2 พบว่า สิ่งทดลองที่ส่วนผสมมีค่าความหนืดมากที่สุด คือ สิ่งทดลองที่ 14 ที่มีค่าพีเอช 3.5 เจลาติน 6% และเพกทิน 1.17% โดยให้ค่าความหนืดเท่ากับ 338.0 ± 2.4 centipoise และสิ่งทดลองที่ส่วนผสมมีค่าความหนืดน้อยที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 13 ที่มีค่าพีเอช 3.5 เจลาติน 6% และเพกทิน 0.33% โดยให้ค่าความหนืดเท่ากับ 45.0 ± 0.3 centipoise เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ตามวิธี RSM โดยเข้าสมการกำลังสอง stepwise multiple regression จะได้ความสัมพันธ์ของสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัสดังสมการ 4.1

$$\text{Viscosity} = 163.086 - 22.192x + 43.758y + 85.328z + 20.930z^2 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0.941$$

โดยที่ x = ค่าพีเอช; y = ความเข้มข้นของเจลาติน; z = ความเข้มข้นของเพกทิน

ตัวแปรของสมการที่ได้จาก multiple linear regression นี้จะยังอยู่ในรูปของรหัส (coded equation) ซึ่งจำเป็นต้องมีการถอดรหัสออกก่อน เพื่อให้ตัวแปรดังกล่าวเป็นค่าจริงที่ใช้ในการทดลอง เมื่อได้ค่าตัวแปรที่ทำการถอดรหัสแล้ว จึงนำไปแทนค่าในสมการ multiple regression อีกครั้ง และนำสมการไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง

ตารางที่ 4.2 ความหนืดของส่วนผสมก่อนเทลงพิมพ์แป้ง ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เมื่อผันแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทิน

สิ่งทดลอง	พีเอช	เจลาติน (%)	เพกทิน (%)	ความหนืด (centipoise)
1	3.2	5.0	0.5	102.5 ± 1.0
2	3.8	5.0	0.5	57.2 ± 1.0
3	3.2	7.0	0.5	174.7 ± 2.7
4	3.8	7.0	0.5	152.5 ± 0.8
5	3.2	5.0	1.0	270.9 ± 0.6
6	3.8	5.0	1.0	235.9 ± 1.3
7	3.2	7.0	1.0	355 ± 1.1
8	3.8	7.0	1.0	297.7 ± 0.8
9	3.0	6.0	0.75	197.5 ± 1.6
10	4.0	6.0	0.75	112.3 ± 3.4
11	3.5	4.32	0.75	50.0 ± 0.7
12	3.5	7.68	0.75	219.0 ± 2.4
13	3.5	6.0	0.33	45.0 ± 0.3
14	3.5	6.0	1.17	338.0 ± 2.4
15	3.5	6.0	0.75	155.8 ± 2.1
16	3.5	6.0	0.75	152.2 ± 1.4
17	3.5	6.0	0.75	156.2 ± 4.7
18	3.5	6.0	0.75	154.0 ± 1.3
19	3.5	6.0	0.75	158.1 ± 2.4

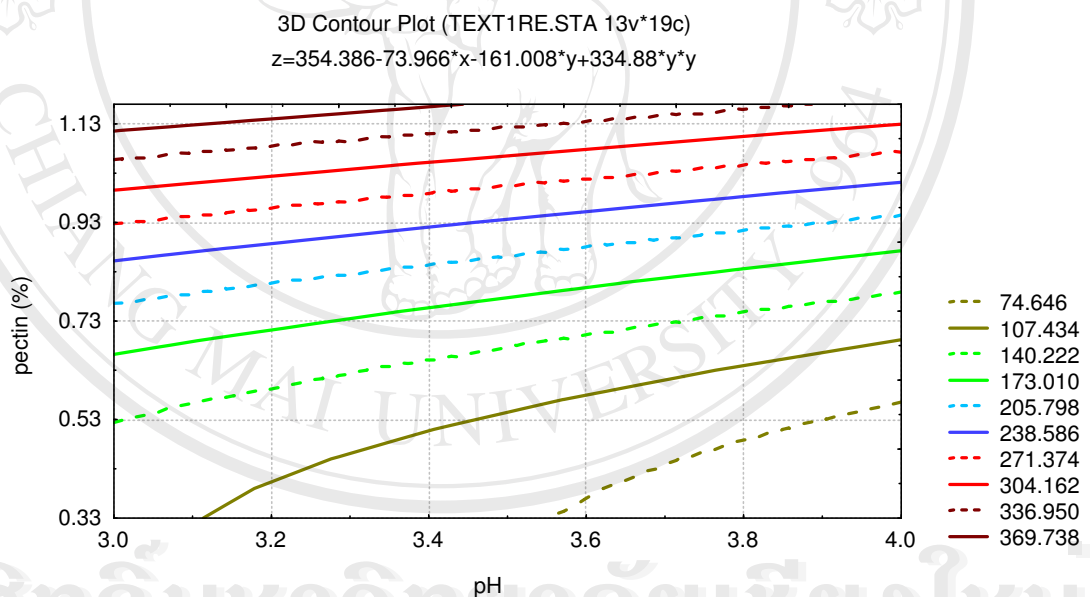
หมายเหตุ ตัวเลขค่าความหนืดในตารางแสดงค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

จากสมการ 4.1 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดของส่วนผสมมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของเพกทิน รองลงมา คือ ความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอช ตามลำดับ โดยเมื่อความเข้มข้นของเพกทินในส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะที่การเปลี่ยนแปลงของเพกทินความเข้มข้นสูงๆ ดังกราฟรูปที่ 4.1 และ 4.3 ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเจลาตินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดของส่วนผสมในรูปแบบการผันแปรตามกัน โดยเมื่อความเข้มข้นของเจลาตินในส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ดังกราฟรูปที่ 4.2 และ 4.3 และจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเพกทินในช่วง 0.33-1.17% ได้ส่งผลต่อความหนืดของส่วนผสมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความเข้มข้นของเจลาตินที่อยู่ในช่วง 4.32-7.68% การทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Marcotte *et al.* (2001) ซึ่งได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเจลาตินมีผลต่อความหนืดของส่วนผสมน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเพกทิน และที่ปริมาณความเข้มข้นเดียวกัน สารละลายของเพกทินจะส่งผลต่อความข้นหนืดมากกว่าสารละลายของเจลาติน

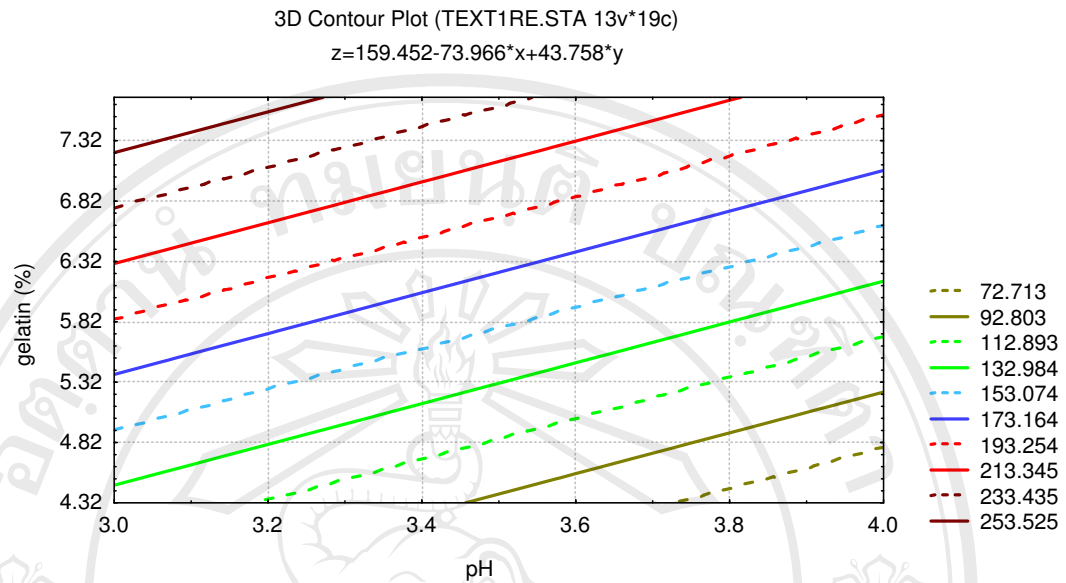
นอกจากนั้น การที่เพกทินมีอิทธิพลต่อความหนืดของส่วนผสมมากกว่าเจลาติน อาจเป็นผลมาจากความเกี่ยวข้องระหว่างอุณหภูมิของส่วนผสมกับอุณหภูมิในการเกิดเจล เนื่องจากในการทดลองนี้ได้ควบคุมอุณหภูมิของส่วนผสมขณะวัดความหนืดไว้ที่ 60 ± 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพกทินเมทอกซีสูงชนิดที่แข็งตัวช้า หรือมีค่า DE ประมาณ 62 สามารถเกิดเจลอย่างช้าๆ ได้ (Rolin, 2002) อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิดังกล่าว เจลาตินยังคงละลายได้ดี และจะเริ่มเกิดเจลได้เมื่ออุณหภูมิของส่วนผสมลดลงอยู่ในช่วง 24-29 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด และค่า bloom strength ของเจลาตินด้วย (Poppe, 1997) นอกจากนี้ ความหนืดของสารละลายเจลาตินยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยค่าความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส Stainsby (1977)

นอกจากความหนืดของส่วนผสมจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของเพกทินและเจลาตินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของส่วนผสมด้วย เมื่อพิจารณาจากสมการ 4.1 จะเห็นว่าเครื่องหมายหน้าทอม x หรือพีเอช มีค่าเป็นลบ แสดงว่าเมื่อพีเอชของส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมมีค่าลดลง และจากกราฟรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ความหนืดลดลงในอัตราคงที่

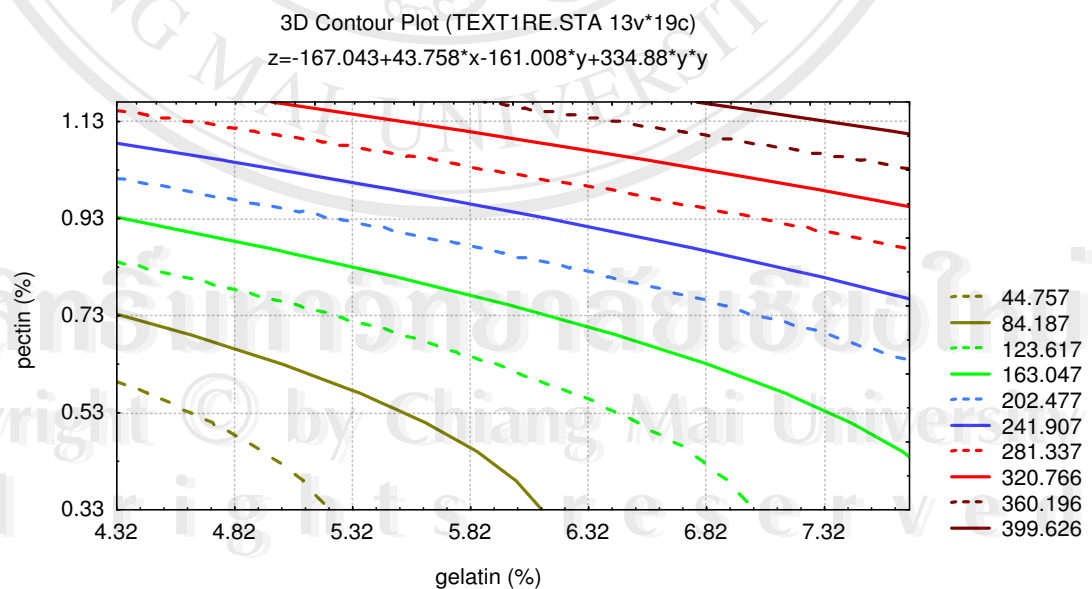
ค่าพีเอชเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความหนืดของสารละลายเจลาติน (Poppe, 1997) และสารละลายเพกทิน โดยในสารละลายเพกทินเจือจาง (ความเข้มข้น 0.5-1%) เมื่อค่าพีเอชลดลง จาก 5.5 เป็น 2.2 มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Nussinovitch, 1997) ในขณะที่สารละลายเจลาติน มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น แต่ความหนืดจะลดลงต่ำสุดเมื่อพีเอช มีค่าเท่ากับ isoelectric point ของเจลาติน คือ ประมาณ 7.0-9.4 ในเจลาติน type A และประมาณ 4.5-5.3 ในเจลาติน type B (Poppe, 1997) และเนื่องจากในการทดลองนี้พบว่าความเข้มข้นของเพกทิน เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดของส่วนผสมมากที่สุด ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชจึงส่งผลกระทบต่อความหนืดของส่วนผสมมีค่าลดลงด้วย



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเพกทินและค่าพีเอช ที่มีผลต่อความหนืดของส่วนผสม



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อความหนืดของส่วนผสม



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและความเข้มข้นของเพกทิน
 ที่มีผลต่อความหนืดของส่วนผสม

4.2.2 ปริมาณความชื้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ที่ได้จากการทดลอง (แสดงในภาคผนวก ค) ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุด คือ สิ่งทดลองที่ 11 ที่มีค่าพีเอช 3.5% เกลาติน 4.32% และเพกทิน 0.75% โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 19.68% และสิ่งทดลองที่มีปริมาณความชื้นสูงสุด คือ สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีค่าพีเอช 3.2 เกลาติน 5.0% และเพกทิน 0.5% โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 20.94% อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นของสิ่งทดลองทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในส่วนผสมให้อยู่ที่ 70% เท่ากันทุกสิ่งทดลอง โดยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยรวมของสิ่งทดลองทั้งหมดอยู่ที่ 20.33% ซึ่งสุวรรณ (2543) ได้รายงานว่ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ผลิตจากเพกทินมีค่าอยู่ในช่วง 20-25% และผลิตภัณฑ์เยลลี่เกลาตินหรือกัมเกลาตินมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 16-22%

เมื่อนำข้อมูลที่ได้อไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษา ได้สมการความสัมพันธ์ในรูปรหัสดังสมการ 4.2

$$\text{ปริมาณความชื้น} = 20.332 + 0.168x - 0.258y \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0.529$$

โดยที่ x = ความเข้มข้นของเกลาติน ; y = ความเข้มข้นของเพกทิน

จากสมการ 4.2 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของเพกทินและเกลาติน ทั้งนี้เมื่อความเข้มข้นของเกลาตินเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อความเข้มข้นของเพกทินเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้ลดลง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพียง 0.529 จึงไม่สมควรที่จะนำผลจากสมการไปใช้ทำนายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความเข้มข้นของเกลาตินและเพกทิน เนื่องจากไม่มีความแม่นยำเพียงพอ

4.2.3 ความแข็งแรงของเจล

เมื่อวัดความแข็งแรงของเจลกัมมีเยลลี่ และนำข้อมูลที่ได้อไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ ได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่มีค่าความแข็งแรงของเจลมากที่สุด คือ สิ่งทดลองที่ 12 ที่มีค่าพีเอช 3.5 เกลาติน 7.68% และเพกทิน 0.75% โดยให้ค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 3.29 ± 0.904 นิวตัน และสิ่งทดลองที่มีค่าความแข็งแรงของเจลด้อยที่สุดคือ

สิ่งทดลองที่ 11 ที่มีค่าพีเอช 3.5 เจลาติน 4.32% และเพกทิน 0.75% โดยให้ค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 0.55 ± 0.032 นิวตัน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ออกไปหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระด้วยวิธี stepwise multiple regression จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเจลกับตัวแปรอิสระในรูปแบบดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ความแข็งแรงของเจล} &= 2.233 + 0.160x + 0.844y - 0.143y^2 - 0.152xy + 0.208z \quad (4.3) \\ R^2 &= 0.978 \end{aligned}$$

โดยที่ x = ค่าพีเอช ; y = ความเข้มข้นของเจลาติน ; z = ความเข้มข้นของเพกทิน

จากสมการที่ 4.3 จะเห็นว่าทั้งค่าพีเอช ความเข้มข้นของเจลาติน และความเข้มข้นของเพกทินเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของเจล โดยความเข้มข้นของเจลาตินเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุด

เมื่อนำสมการที่ได้ข้างต้นมาทำการถดถอย สร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

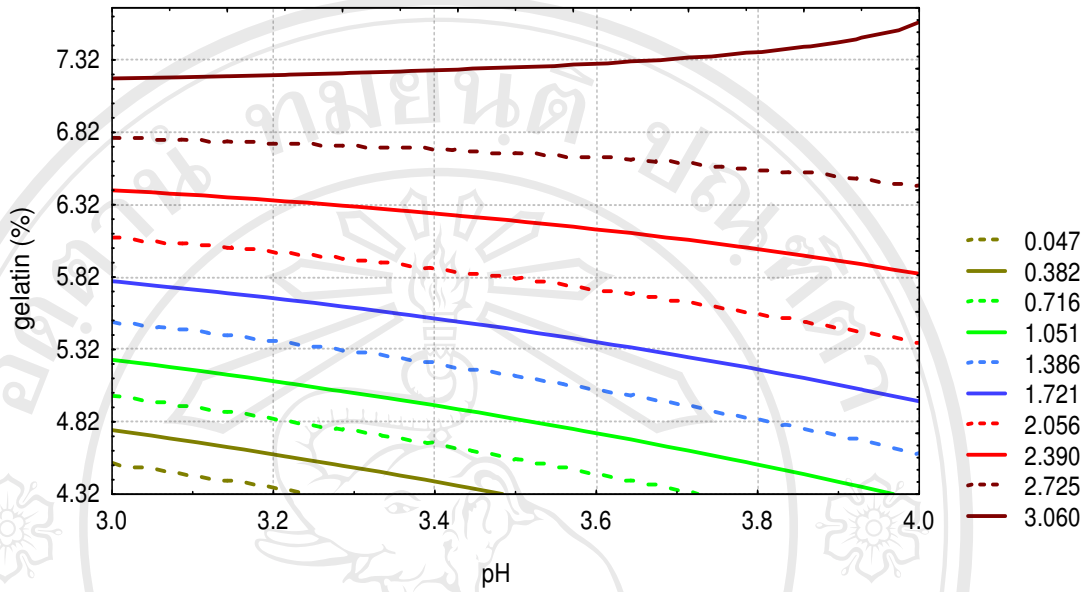
จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าพีเอชและความเข้มข้นของเจลาตินที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินในปริมาณที่สูงขึ้น โดยเฉพาะที่ค่าพีเอชสูงๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของเจลลดน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ledward (2000) ที่กล่าวว่า ความแข็งแรงของเจลที่เตรียมจากเจลาตินมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงพีเอช 4-10 โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของเจลาตินสูงๆ แต่เมื่อค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 4 หรือเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 ความแข็งแรงของเจลจะมีค่าลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเพกทินในส่วนผสม พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นเพกทิน ส่งผลให้กัมมิเนสตีมีความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ดังกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ผลการทดลองนี้แตกต่างจากผลงานวิจัยของอุไรรัช (2538) ซึ่งได้รายงานว่าการเพิ่มค่าพีเอชในช่วง 2.5-3.5 ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาล 50-60% มีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลเพกทินลดลง

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนของกัมมีเยลลี เมื่อผันแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทิน

สิ่งทดลอง	พีเอช	เจลาติน (%)	เพกทิน (%)	ความแข็งแรงของเจล (นิวตัน)	แรงเฉือน (นิวตัน)
1	3.2	5.0	0.5	0.68 ± 0.053	3.92 ± 0.33
2	3.8	5.0	0.5	1.28 ± 0.097	15.55 ± 0.93
3	3.2	7.0	0.5	2.52 ± 0.162	36.36 ± 1.54
4	3.8	7.0	0.5	2.94 ± 0.330	50.20 ± 3.67
5	3.2	5.0	1.0	0.86 ± 0.095	3.32 ± 0.18
6	3.8	5.0	1.0	1.82 ± 0.244	25.14 ± 1.05
7	3.2	7.0	1.0	3.09 ± 0.109	42.24 ± 1.89
8	3.8	7.0	1.0	3.01 ± 0.335	43.36 ± 1.38
9	3.0	6.0	0.75	2.26 ± 0.102	26.33 ± 1.38
10	4.0	6.0	0.75	2.43 ± 0.157	38.96 ± 3.15
11	3.5	4.32	0.75	0.55 ± 0.032	3.52 ± 0.30
12	3.5	7.68	0.75	3.29 ± 0.904	50.25 ± 2.18
13	3.5	6.0	0.33	1.75 ± 0.198	15.26 ± 2.04
14	3.5	6.0	1.17	2.63 ± 0.194	29.09 ± 1.74
15	3.5	6.0	0.75	2.45 ± 0.275	26.70 ± 0.98
16	3.5	6.0	0.75	2.25 ± 0.082	24.96 ± 0.45
17	3.5	6.0	0.75	2.00 ± 0.187	25.25 ± 1.56
18	3.5	6.0	0.75	2.50 ± 0.086	23.80 ± 1.04
19	3.5	6.0	0.75	2.17 ± 0.211	24.44 ± 1.37

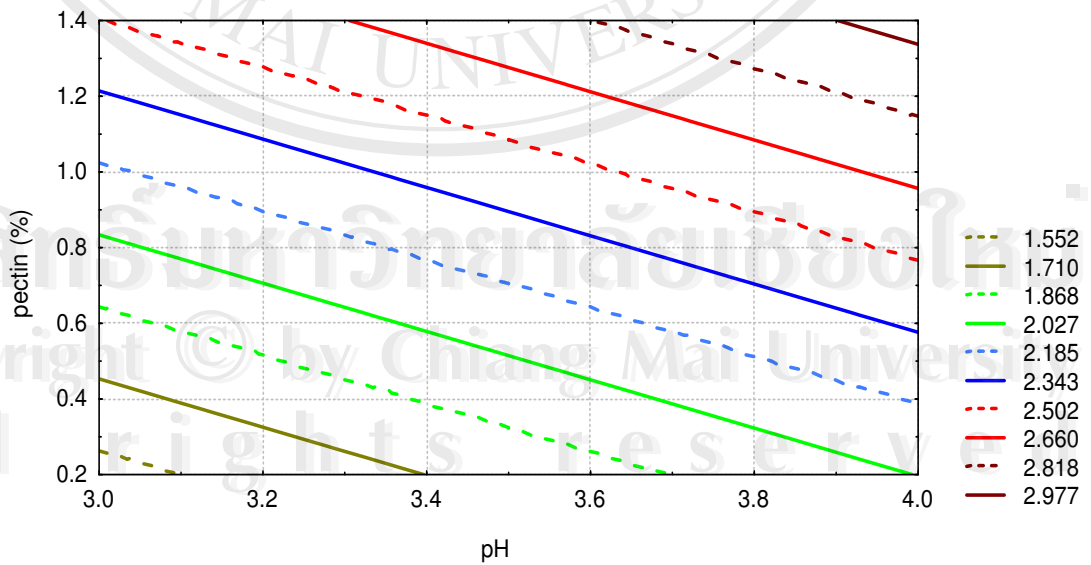
หมายเหตุ ตัวเลขความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

3D Surface Plot (TEXT1RE.STA 13v*19c)
 $z = -20.486 + 3.573x + 4.333y - 0.143y^2 - 0.507x^2y$



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อความแข็งแรงของกัมมีเยลลี่

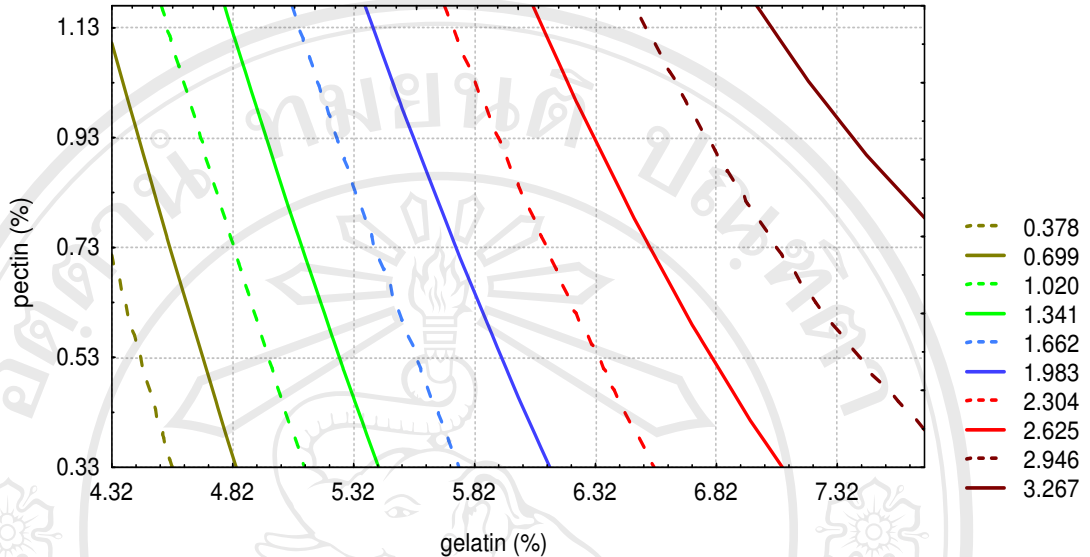
3D Surface Plot (TEXT1RE.STA 13v*19c)
 $z = -0.26 + 0.531x + 0.832y$



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเพกทินและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อความแข็งแรงของกัมมีเยลลี่

3D Surface Plot (TEXT1RE.STA 13v*19c)

$$z = -8.604 + 2.559x - 0.143x^2 + 0.832y$$



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและความเข้มข้นของเพกทินที่มีผลต่อความแข็งแรงของกัมมีเยลลี่

4.2.4 แรงเหนือน

เมื่อแปรผันค่าพีเอชของส่วนผสม ความเข้มข้นของเจลาตินและความเข้มข้นของเพกทินแล้วนำกัมมีเยลลี่ที่ได้มาวัดค่าแรงเหนือน ได้ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่มีค่าแรงเหนือนมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 12 ที่มีค่าพีเอช 3.5 เจลาติน 7.68% และเพกทิน 0.75% โดยให้ค่าแรงเหนือนเท่ากับ 50.25 ± 2.18 นิวตัน และสิ่งทดลองที่มีค่าแรงเหนือนน้อยที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 11 ที่มีค่าพีเอช 3.5 เจลาติน 4.32% และเพกทิน 0.75% โดยให้ค่าแรงเหนือนเท่ากับ 3.52 ± 0.30 นิวตัน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเหนือนกับตัวแปรอิสระด้วยวิธี stepwise multiple regression ได้สมการที่ 4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงเหนือนกับตัวแปรอิสระในรูปรหัสดังสมการ 4.4

$$\text{ค่าแรงเหนือน} = 24.787 + 5.1x + 2.76x^2 + 14.85y + 2.291z \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0.945$$

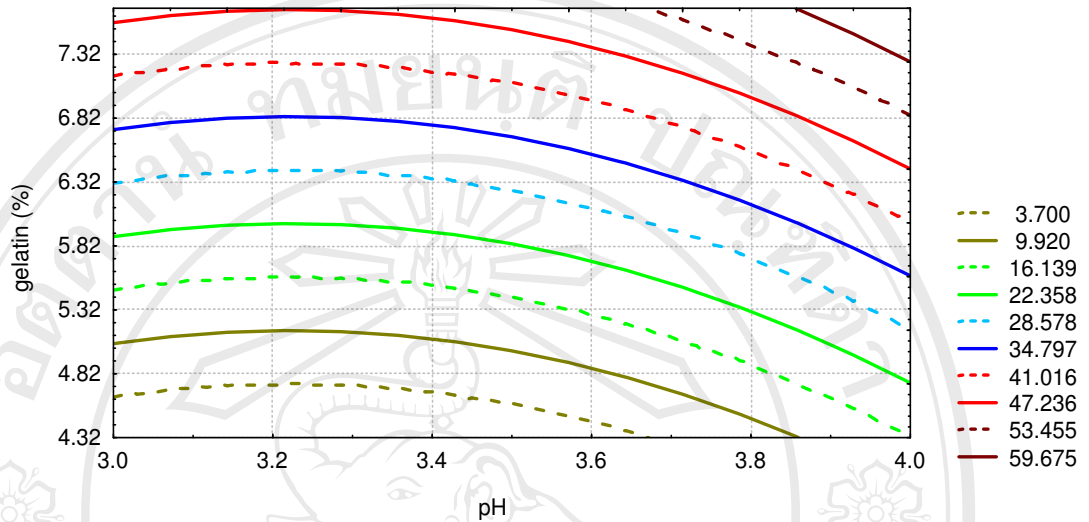
โดยที่ x = ค่าพีเอช ; y = ความเข้มข้นของเจลาติน ; z = ความเข้มข้นของเพกทิน

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ความเข้มข้นของเจลาติน และความเข้มข้นของเพกทินในส่วนผสมที่ปริมาณสูงขึ้น มีผลทำให้ ค่าแรงเฉือนในกัมมีเยลลีเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเจลาตินมีอิทธิพลต่อการ เปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวมากที่สุด ดังกราฟรูปที่ 4.7 และ 4.9 ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของเพกทินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเฉือนเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 4.8 และ 4.9) นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของเจลาตินและความเข้มข้นของเพกทินมีค่าคงที่ การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชในช่วงประมาณ 3.0-3.2 ส่งผลทำให้ค่าแรงเฉือนในกัมมีเยลลีลดลง และ จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเลขช่วงพีเอชนี้ไป โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าแรงเฉือนจะมากขึ้นตามที่ค่าพีเอช ที่สูงขึ้น (รูปที่ 4.7 และ 4.8)

เพกทินชนิดเมทอกซีสูงสามารถเกิดเจลได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด และโดยทั่วไปจะเกิด เจลที่พีเอชประมาณ 3.0 (Christensen, 1986; Rolin, 1990) เจลของเพกทินที่เตรียมจากน้ำตาล ชูโครสมิความแข็งของเจล (firmness) เพิ่มขึ้นสูงสุดที่พีเอชประมาณ 3.05 และความแข็งของเจล ลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้นและเข้าใกล้ 3.2 (Oakenfull, 1991) การเพิ่มค่าพีเอชมีผลทำให้ แรงผลักดันระหว่างประจุบนสายโมเลกุลของเพกทินเกิดมากขึ้น ทำให้โอกาสที่สายโมเลกุลของ เพกทินเข้ามาใกล้กันจนเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายเจลมีน้อยกว่าที่พีเอชต่ำ และส่งผลให้ ความแข็งแรงของเจลลดลง และเนื่องจากเจลของเพกทินมีลักษณะโครงสร้างของเนื้อสัมผัสที่เป็น สายสั้น (DeMars and Ziegler, 2001) นั่นคือ เจลมีความเปราะ ง่ายต่อการตัดให้ขาดออกจากกัน ในทางตรงกันข้าม เมื่อเปรียบเทียบกับเจลาตินแล้ว เจลของเจลาตินมีความหนืดและยืดหยุ่น และ ความแข็งแรงของเจลก็สัมพันธ์กับลักษณะดังกล่าว (Poppe, 1997) เจลที่มีความยืดหยุ่นมาก จำเป็นต้องใช้แรงในการเนียนให้ขาดออกจากกันมากกว่าเจลที่มีความยืดหยุ่นน้อย ถึงแม้ว่า ความแข็งแรงของเจลเจลาตินมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงพีเอช 4-10 แต่ที่พีเอชต่ำกว่าช่วงดังกล่าว เมื่อเพิ่มค่าพีเอช ความแข็งแรงของเจลเจลาตินจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Ledward, 2000) ซึ่งต้องใช้แรง ในการเนียนให้ขาดจากกันเพิ่มมากขึ้น

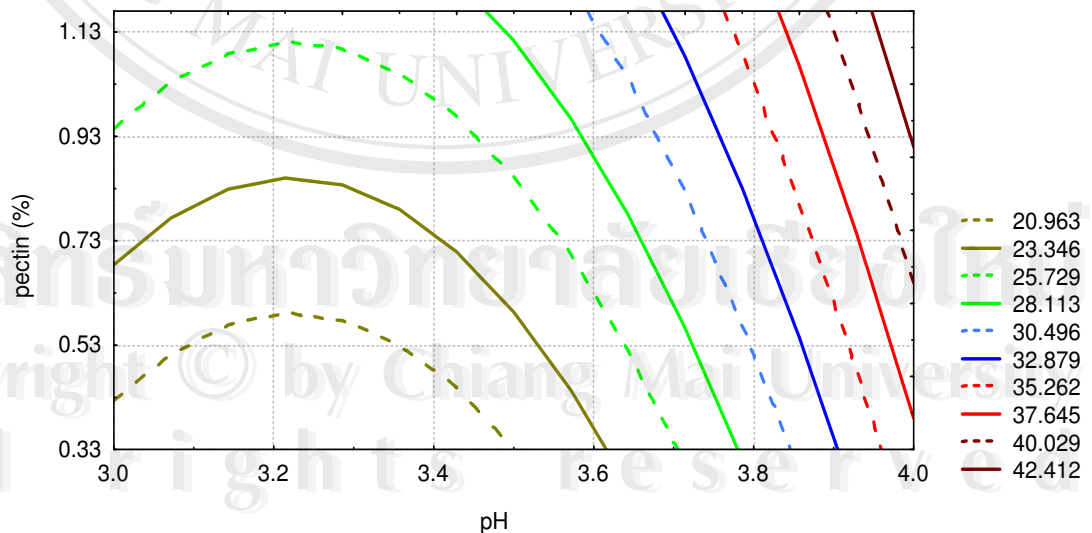
เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการศึกษาเจลผสมระหว่างเจลาตินและเพกทิน การเพิ่ม ค่าพีเอชในช่วง 3.0-4.0 จึงส่งผลกระทบต่อการศึกษาการเกิดเจลของสารแต่ละชนิด กล่าวคือ การเพิ่ม ค่าพีเอชในช่วงแรกจาก 3.0 เป็น 3.2 โครงสร้างตาข่ายของเพกทินจะเกิดได้น้อยลง ประกอบกับ เจล ที่เกิดจากเจลาตินมีความแข็งแรงของเจลอ้อยที่ช่วงพีเอชต่ำ ทำให้เจลของกัมมีเยลลีที่ได้มีเนื้อ สัมผัสที่มีความเปราะมากขึ้น แรงเฉือนที่วัดได้จึงมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มค่าพีเอชจาก 3.2 เป็น 4.0 แม้ว่าเจลเพกทินจะเกิดได้น้อยลง แต่เจลที่เกิดจากเจลาตินมีความแข็งแรง มีความหนืดและ ยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ทำให้แรงเฉือนที่วัดได้ในกัมมีเยลลีมีค่าเพิ่มขึ้น

3D Surface Plot (TEXT1RE.STA 13v*19c)
 $z=251.854-197.666*x+30.666*x*x+14.85*y$



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนของกัมมีเยลลี่

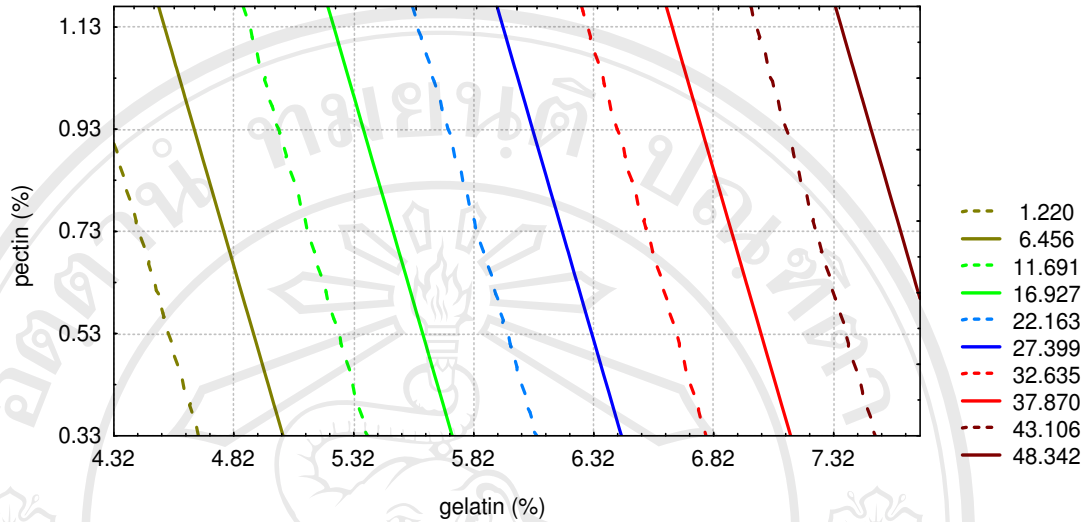
3D Surface Plot (TEXT1RE.STA 13v*19c)
 $z=334.081-197.666*x+30.666*x*x+9.164*y$



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเพกตินและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนของกัมมีเยลลี่

3D Surface Plot (TEXT1RE.STA 13v*19c)

$$z = -71.192 + 14.85x + 9.164y$$



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและความเข้มข้นของเพกทิน ที่มีผลต่อค่าแรงเคี้ยวของกัมมีเยลลี่

4.2.5 Texture Profile Analysis

ผลการวัดเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่โดยวิธี Texture Profile Analysis เมื่อผันแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของเพกทิน และความเข้มข้นของเจลาตินในส่วนผสม แสดงดังในตารางที่ 4.4 พบว่า springiness หรือความยืดหยุ่น มีค่าอยู่ในช่วง 0.86-0.95 cohesiveness หรือแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.57-0.70 gumminess หรือแรงที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งแข็ง แตกกระจายจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน มีค่าอยู่ในช่วง 2.25-12.90 นิวตัน และ chewiness หรือแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารแข็งจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน มีค่าอยู่ในช่วง 1.95-12.72 นิวตัน ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า gumminess สูง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งน้อย แต่มีแรงยึดเหนี่ยวภายในมาก สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีค่า chewiness สูงนั้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็ง มีแรงยึดเหนี่ยวภายใน หรือมีความยืดหยุ่นสูง (Szczesniak, 2002)

เมื่อนำข้อมูลของค่าเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองไปหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ ด้วยวิธี stepwise multiple regression จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ในรูปรหัสดังสมการที่ 4.5 ถึงสมการที่ 4.8

$$\text{Springiness} = 0.962 + 0.18x + 0.028y - 0.02y^2 \quad (4.5)$$

$$R^2 = 0.741$$

$$\text{Cohesiveness} = 0.578 - 0.02y + 0.017y \quad (4.6)$$

$$R^2 = 0.611$$

$$\text{Gumminess} = 8.501 + 0.777x + 3.328y - 0.862xy \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0.895$$

$$\text{Chewiness} = 8.144 + 0.851x + 3.295y \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0.846$$

โดยที่ $x =$ ค่าพีเอช ; $y =$ ความเข้มข้นของเจลาติน

จากสมการที่ 4.5 ถึงสมการที่ 4.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเซลลี ในการทดลองตามวิธี Texture Profile Analysis มีเพียงค่าพีเอช และความเข้มข้นของเจลาติน ส่วนความเข้มข้นของเพกทินไม่มีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าว

เมื่อนำสมการที่ได้ข้างต้นมาทำการถอดรหัส และสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง ได้ผลแสดง ดังรูปที่ 4.10 ถึงรูปที่ 4.13

จากกราฟรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและความเข้มข้นของเจลาตินกับค่าความยืดหยุ่นของกัมมีเซลลี พบว่าการเพิ่มค่าพีเอชมีผลทำให้ความยืดหยุ่นของกัมมีเซลลีเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่าพีเอชคงที่ ความยืดหยุ่นของกัมมีเซลลีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเจลาตินในส่วนผสมเพิ่มขึ้น โดยอัตราการเพิ่มขึ้นจะลดน้อยลงและคงที่ในช่วงความเข้มข้นของเจลาตินประมาณ 5.82% ถึง 6.82% หลังจากนั้นหากเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินต่อไป มีแนวโน้มว่าความยืดหยุ่นของกัมมีเซลลีจะมีค่าลดลง

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า cohesiveness ของกัมมีเซลลี มีเพียงปัจจัยเดียว คือ ความเข้มข้นของเจลาติน โดยการเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินในช่วงแรกมีผลทำให้ค่า cohesiveness ของกัมมีเซลลีลดลง และคงที่ในช่วงความเข้มข้นของเจลาตินประมาณ 6.32% ถึง 6.82% หลังจากนั้น การเพิ่มความเข้มข้นจะมีผลทำให้ ค่า cohesiveness ของกัมมีเซลลีเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.11

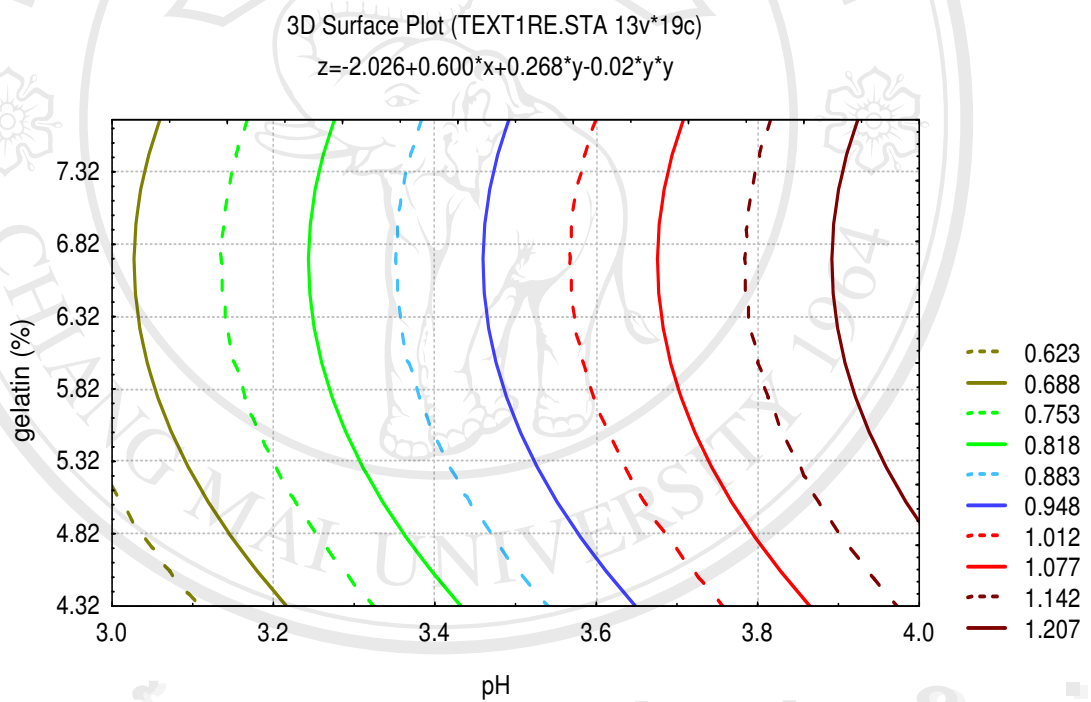
จากกราฟรูปที่ 4.12 เมื่อค่าพีเอชและความเข้มข้นของเจลาตินในส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ค่า gumminess ของกัมมีเซลลีเพิ่มขึ้น โดยเมื่อความเข้มข้นของเจลาตินเพิ่มขึ้นจนอยู่ในช่วง 6.32% ถึง 6.72% โดยประมาณ จะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของเจลลดลง ซึ่งความสัมพันธ์นี้มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันกับค่าความแข็งแรงของเจลในกราฟรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่ด้วยวิธี Texture Profile Analysis
เมื่อผ่านแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทิน

สิ่งทดลอง	springiness	cohesiveness	gumminess (Newton)	chewiness (Newton)
1	0.87 ± 0.002	0.64 ± 0.011	2.25 ± 0.276	1.95 ± 0.103
2	0.93 ± 0.014	0.57 ± 0.003	6.26 ± 0.419	5.83 ± 0.319
3	0.95 ± 0.011	0.57 ± 0.005	10.75 ± 1.062	10.21 ± 0.951
4	0.99 ± 0.005	0.57 ± 0.001	12.90 ± 1.551	12.72 ± 1.552
5	0.90 ± 0.019	0.61 ± 0.013	3.70 ± 0.487	3.32 ± 0.398
6	0.96 ± 0.011	0.57 ± 0.002	7.72 ± 0.406	7.41 ± 0.426
7	0.98 ± 0.017	0.58 ± 0.003	12.90 ± 1.211	12.69 ± 1.298
8	0.99 ± 0.006	0.58 ± 0.002	11.89 ± 0.393	11.75 ± 0.370
9	0.95 ± 0.015	0.58 ± 0.002	8.61 ± 1.662	8.17 ± 1.603
10	0.99 ± 0.008	0.57 ± 0.002	9.47 ± 0.762	9.40 ± 0.726
11	0.86 ± 0.010	0.70 ± 0.013	2.52 ± 0.288	2.16 ± 0.139
12	0.94 ± 0.080	0.58 ± 0.005	12.59 ± 1.582	11.77 ± 1.375
13	0.93 ± 0.020	0.60 ± 0.007	7.76 ± 1.629	7.23 ± 1.402
14	0.94 ± 0.031	0.59 ± 0.019	9.12 ± 1.574	8.54 ± 1.503
15	0.99 ± 0.014	0.58 ± 0.003	8.40 ± 0.631	8.31 ± 0.530
16	0.98 ± 0.023	0.58 ± 0.004	8.82 ± 0.754	8.62 ± 0.589
17	0.97 ± 0.010	0.58 ± 0.001	8.50 ± 0.600	8.23 ± 0.507
18	0.95 ± 0.017	0.57 ± 0.007	7.63 ± 0.277	7.29 ± 0.232
19	0.92 ± 0.011	0.59 ± 0.007	7.34 ± 0.150	6.77 ± 0.175

หมายเหตุ ตัวเลขผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและความเข้มข้นของเจลาตินที่มีต่อค่า chewiness พบว่าเมื่อพีเอชและความเข้มข้นของเจลาตินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า chewiness ของกัมมีเยลลีเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเจลาตินจะมีอิทธิพลต่อค่า chewiness มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของส่วนผสม ดังรูปที่ 4.13

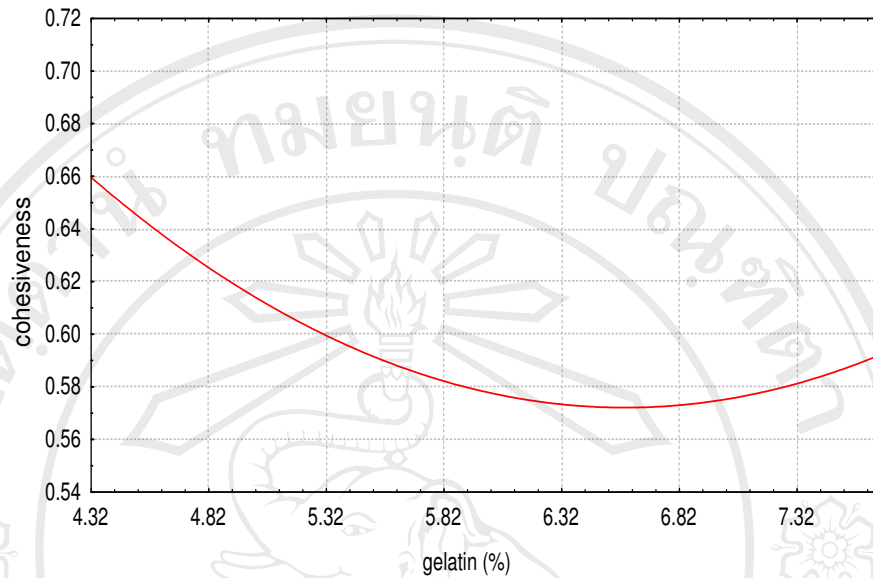


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอช

ที่มีผลต่อค่า springiness ของกัมมีเยลลี

Scatterplot (TEXT1RE.STA 13v*19c)

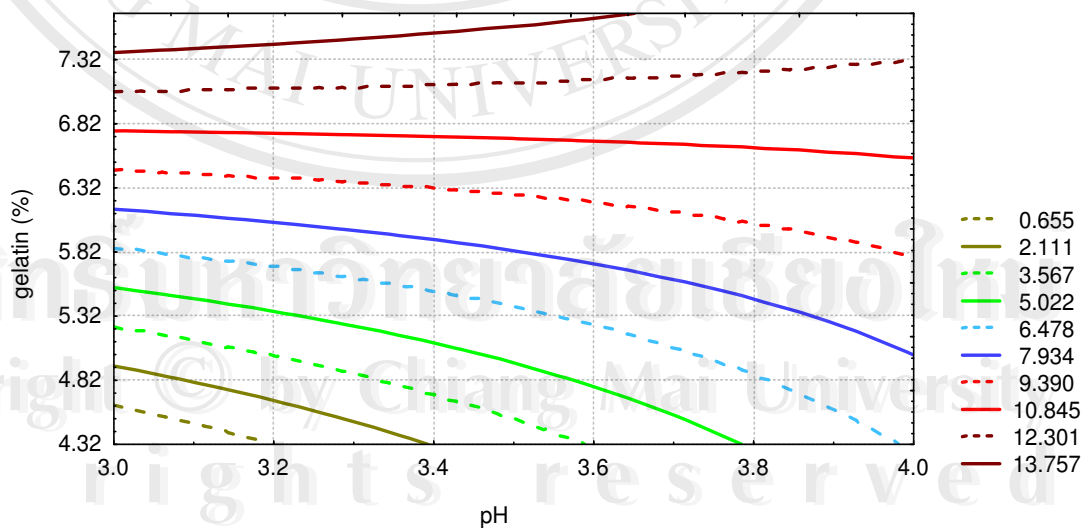
$$y=1.31-0.224*x+0.017*x*x$$



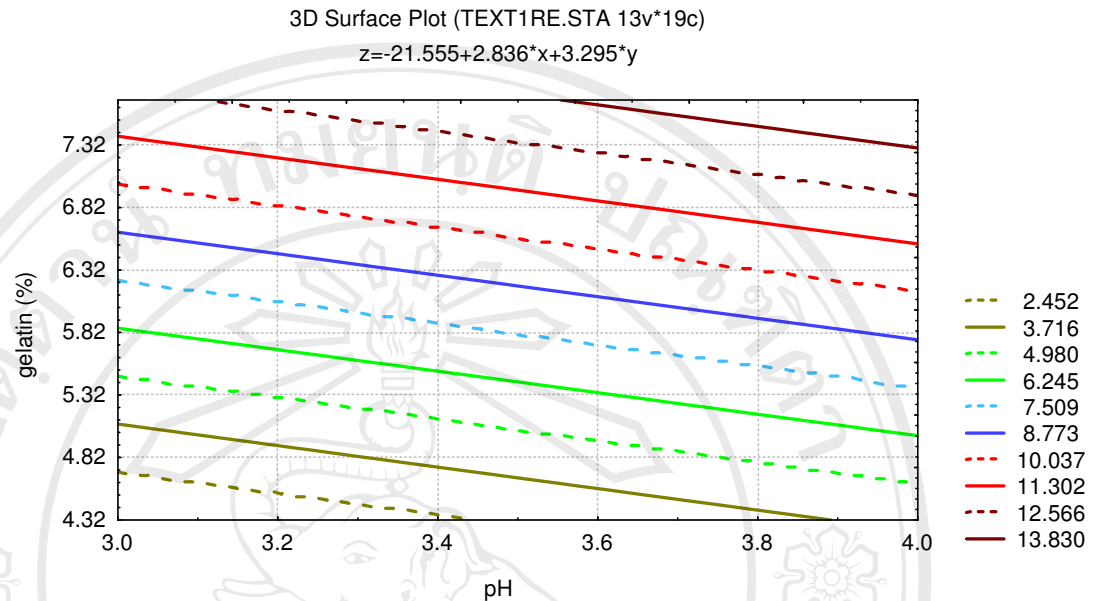
รูปที่ 4.11 ค่า cohesiveness ของกัมมีเยลลี่ ที่ความเข้มข้นของเจลาตินระดับต่างๆ

3D Surface Plot (TEXT1RE.STA 13v*19c)

$$z=-80.874+19.828*x+13.385*y-2.873*x*y$$



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอช ที่มีผลต่อค่า gumminess ของกัมมีเยลลี่



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อค่า chewiness ของกัมมีเยลลี่

4.2.6 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวนทั้งหมด 19 คน ประเมินความชอบที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ ได้แก่ ความนุ่ม ความเหนียว ความยืดหยุ่น และความชอบรวม เมื่อปรับแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของเจลาติน และความเข้มข้นของเพกทิน ได้คะแนนผลการทดสอบดังในตารางที่ 4.5 พบว่าสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนการยอมรับรวมต่อผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่น้อยที่สุด คือ สิ่งทดลองที่ 11 โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 2.22 สำหรับสิ่งทดลองที่ได้คะแนนการยอมรับรวมมากที่สุด ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 18 โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.33

เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบในด้านต่างๆ ซึ่งคำนวณได้จากแผนการทดลองแบบ BIB ที่ได้ทำการปรับค่า (adjusted mean) แล้วนำไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองกับตัวแปรอิสระ ด้วยวิธี stepwise multiple regression ได้สมการต่างๆ ในรูปรหัสดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความนุ่ม} &= 6.346 - 1.246y^2 \\ R^2 &= 0.654 \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} \text{ความเหนียว} &= 5.831 - 1.277y^2 - 0.863xy \\ R^2 &= 0.646 \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} \text{ความยืดหยุ่น} &= 6.269 - 1.415y^2 - 0.786xy \\ R^2 &= 0.737 \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \text{ความชอบรวม} &= 6.084 - 1.264y^2 \\ R^2 &= 0.596 \end{aligned} \quad (4.12)$$

โดยที่ $x =$ ค่าพีเอช; $y =$ ความเข้มข้นของเจลาติน

เมื่อพิจารณาสมการความสัมพันธ์ของค่าตอบสนองทางด้านประสาทสัมผัสกับตัวแปรอิสระในสมการที่ 4.9 ถึงสมการที่ 4.12 แม้ว่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) มีค่าค่อนข้างต่ำเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างระหว่างผู้ทดสอบชิมแต่ละคน อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองมากที่สุดคือความเข้มข้นของเจลาติน รองลงมาคือค่าพีเอชของส่วนผสม สำหรับความเข้มข้นของเพกทิน พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อความชอบในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความนุ่ม ความเหนียว ความยืดหยุ่น และการยอมรับรวมของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์กัมมีเซลลี และเมื่อนำทุกสมการมาคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ในการทดลอง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กัมมีเซลลีที่มีคะแนนความชอบมากที่สุด พบว่าคะแนนความชอบในด้านต่างๆ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์มีค่ามากที่สุด เมื่อความเข้มข้นของเจลาตินอยู่ที่ระดับกลาง หรือเท่ากับความเข้มข้นที่ 6% และมีค่าพีเอชอยู่ที่ 3.5 ความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอชที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ข้างต้นนี้ มีค่าอยู่ที่ระดับกลาง ซึ่งสัมพันธ์กับสิ่งทดลองที่มีคะแนนการยอมรับรวมมากที่สุด โดยสิ่งทดลองที่มีความเข้มข้นของเจลาตินและค่าพีเอชอยู่ที่ระดับกลางเช่นเดียวกันนี้ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 13, 16, 17, 18 และ 19 (สิ่งทดลองที่ 15, 16, 17, 18 และ 19 เป็นการทดลองซ้ำที่ระดับกลางของทั้ง 3 ปัจจัย เมื่อนำมาเฉลี่ยแล้วได้คะแนนการยอมรับรวมเท่ากับ 6.60 คะแนน) และเนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของเพกทินในช่วงที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อคะแนนความชอบของเนื้อสัมผัสในด้านต่างๆ ดังนั้นในการทดลองต่อไป จึงเลือกสถานะของสิ่งทดลองที่ 13 มาใช้ในการทดลอง คือที่ปริมาณความเข้มข้นของเจลาติน 6% และเพกทิน 0.33% ทั้งนี้การเลือกใช้เพกทินในปริมาณต่ำที่สุด เป็นการช่วยให้ประหยัดในเรื่องของต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 4.5 คะแนนผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของกัมมีเยลลี่ เมื่อผ่านแปรค่าพีเอช
ความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทิน

สิ่งทดลอง	ความนุ่ม	ความเหนียว	ความยืดหยุ่น	การยอมรับรวม
1	3.85	2.40	2.83	3.44
2	6.36	6.23	6.53	6.44
3	4.42	3.95	4.62	4.56
4	4.58	3.85	4.35	4.11
5	4.21	3.06	3.74	4.22
6	6.61	6.35	6.52	6.22
7	4.28	3.81	4.04	3.78
8	5.33	4.11	4.50	4.89
9	6.21	6.73	6.32	6.00
10	5.73	4.28	5.13	4.89
11	2.33	2.59	1.98	2.22
12	3.73	2.79	3.15	3.11
13	6.66	6.80	6.98	6.56
14	5.67	5.00	5.66	4.67
15	6.88	5.72	6.05	6.11
16	7.00	6.50	7.10	7.00
17	6.46	5.72	6.53	6.11
18	7.33	6.91	7.24	7.33
19	6.92	6.56	6.50	6.67

หมายเหตุ ตัวเลขคะแนนความชอบในตารางแสดงค่าเฉลี่ยที่ผ่านการปรับค่า (adjusted mean)

โดยใช้ โปรแกรมการคำนวณของการวางแผนการทดลองแบบ BIB

4.3 ผลของพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครสต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่

ตามที่ได้วางแผนการทดลองเป็นแบบ Central Composite Design 2^3 Factorial Experiment โดยกำหนดให้มีค่าต่ำสุดและสูงสุดของปัจจัย ได้แก่ ค่าพีเอชของส่วนผสม 3.2 และ 3.8 ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป 20% และ 30% ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 20% และ 30% กำหนดให้ความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทินคงที่ คือ 6.0% และ 0.33% ตามลำดับ ซึ่งได้คัดเลือกมาจากการทดลองในตอนต้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 ถึงตารางที่ 4.9

4.3.1 ความหนืดของส่วนผสม

เมื่อวัดความหนืดของส่วนผสมสุดท้ายที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 70% ก่อนนำไปเทลงในพิมพ์ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.6 พบว่าสิ่งทดลองที่มีค่าความหนืดของส่วนผสมมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่าพีเอช 3.2 กลูโคสไซรัป 20% และน้ำตาลซูโครส 20% โดยมีค่าความหนืดของส่วนผสมเท่ากับ 168.0 ± 3.5 centipoise และสิ่งทดลองที่มีค่าความหนืดของส่วนผสมน้อยที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งมีค่าพีเอช 3.8 น้ำตาลซูโครส 30% และกลูโคสไซรัป 30% โดยมีค่าความหนืดของส่วนผสมเท่ากับ 78.3 ± 3.8 centipoise

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระด้วยวิธี stepwise multiple regression เพื่อคัดเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น สำหรับตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป ทำให้สมการที่ได้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้อง โดยผลการวิเคราะห์ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความความหนืดของส่วนผสมกับตัวแปรอิสระในรูปรหัสดังสมการ 4.13

$$\text{Viscosity} = 120.478 - 21.084x - 17.508y - 6.171z \quad (4.13)$$

$$R^2 = 0.918$$

โดยที่ x = ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส; y = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; z = ค่าพีเอช

เมื่อพิจารณาสมการ 4.13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าตอบสนองของค่าความหนืดกับตัวแปรอิสระข้างต้น จะเห็นว่ามีความหมายติดลบหน้าตัวแปรอิสระทุกตัว แสดงให้เห็นว่าความหนืดของส่วนผสมจะแปรผกผันกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส และความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ความหนืดของส่วนผสมก่อนเทลงพิมพ์แป้ง ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เมื่อผันแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส

สิ่งทดลอง	พีเอช	กลูโคสไซรัป (%)	น้ำตาลซูโครส (%)	ความหนืด (centipoise)
1	3.2	20	20	168.0 ± 3.5
2	3.8	20	20	157.8 ± 0.6
3	3.2	30	20	129.2 ± 4.1
4	3.8	30	20	110.0 ± 3.0
5	3.2	20	30	107.6 ± 3.7
6	3.8	20	30	103.9 ± 1.6
7	3.2	30	30	85.8 ± 2.7
8	3.8	30	30	78.3 ± 3.8
9	3.0	25	25	97.5 ± 3.8
10	4.0	25	25	99.3 ± 1.6
11	3.5	16.6	25	148.9 ± 2.8
12	3.5	33.4	25	86.4 ± 1.4
13	3.5	25	16.6	155.0 ± 3.2
14	3.5	25	33.4	96.4 ± 4.7
15	3.5	25	25	110.6 ± 2.6
16	3.5	25	25	114.1 ± 3.5
17	3.5	25	25	120.3 ± 3.8
18	3.5	25	25	117.3 ± 3.7
19	3.5	25	25	118.7 ± 4.9

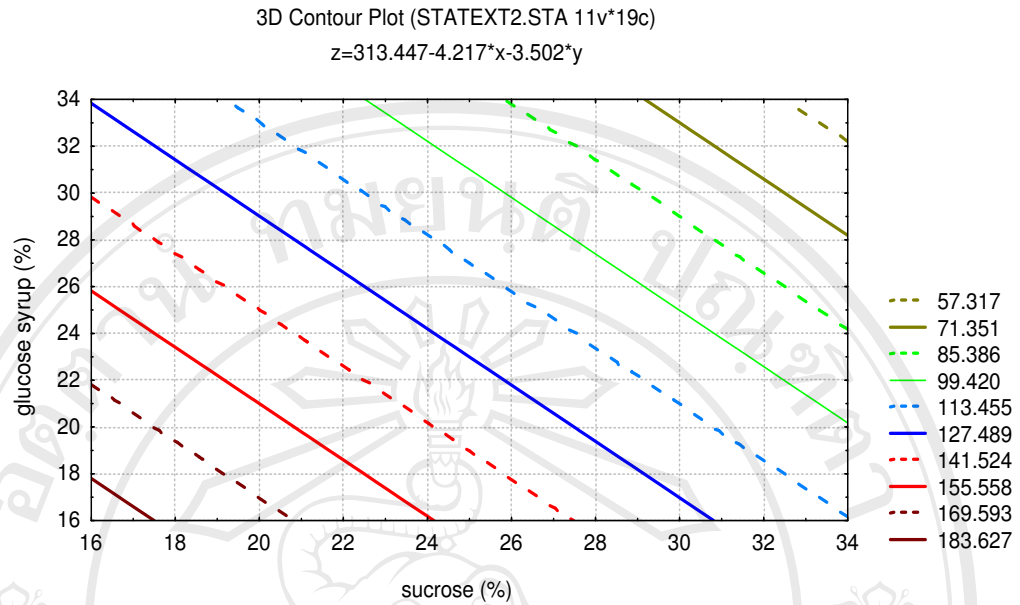
หมายเหตุ ตัวเลขค่าความหนืดในตารางแสดงค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

เมื่อทำการถอดรหัสสมการถดถอย (สมการ 4.13) และนำไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.16 ดังที่ได้กล่าวไว้ในผลการทดลองตอนที่ 2 เนื่องจากเพกติน เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดของส่วนผสมมากกว่าเจลาติน ดังนั้นการเพิ่มค่าพีเอช ในช่วง 3.0 ถึง 4.0 จึงส่งผลทำให้ความหนืดของส่วนผสมลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด จากผลของพีเอชมีเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและ กลูโคสไซรัป (รูปที่ 4.15 และ 4.16) เมื่อเพิ่มน้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัปในส่วนผสม พบว่า มีผลทำให้ค่าความหนืดของส่วนผสมลดลงอย่างคงที่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเพิ่มความเข้มข้นของ น้ำตาลทั้งสองชนิด เป็นผลทำให้สัดส่วนของสารก่อเจลในส่วนผสมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดย ทำให้สัดส่วนของเจลาตินและเพกตินต่อส่วนผสมทั้งหมดหลังจากที่ทำการเคี้ยวจนได้ปริมาณ ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 70% มีค่าลดลงมากกว่าส่วนผสมที่มีความเข้มข้นของ น้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัปในระดับต่ำ

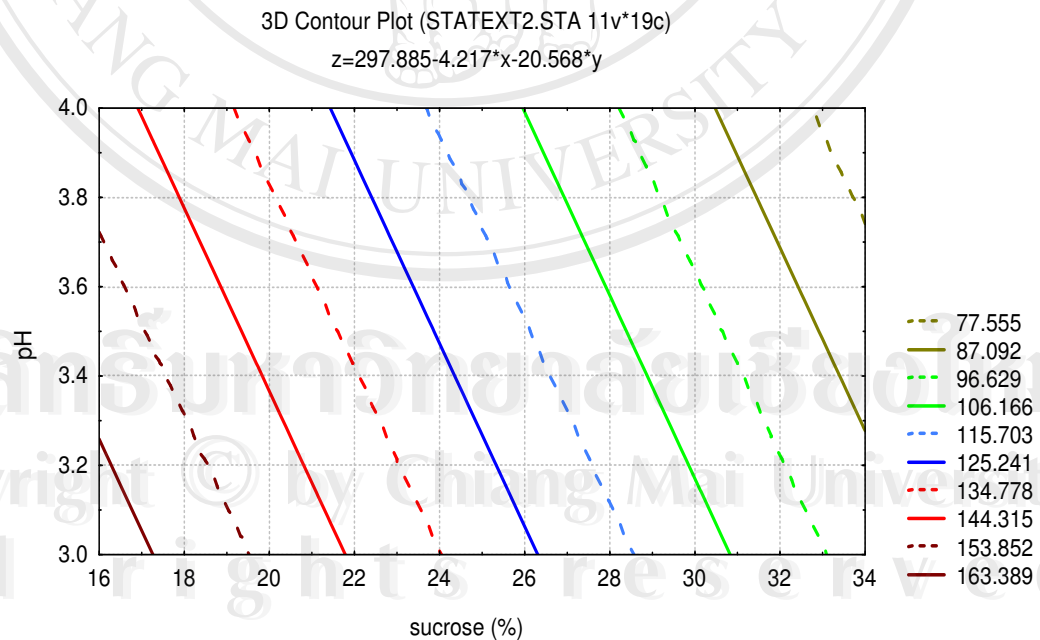
เมื่อพิจารณาเส้นที่แสดงค่าความหนืดเท่ากัน ณ จุดตัดของแกน x และ y จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 4.14) หรืออาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มน้ำตาลชนิดใดชนิดหนึ่งที่ปริมาณความเข้มข้นเดียวกัน น้ำตาลซูโครส จะมีผลทำให้ส่วนผสมมีความข้นหนืดน้อยกว่ากลูโคสไซรัปเล็กน้อย

อุไรรัช (2538) รายงานว่าชนิดของน้ำตาลและความเข้มข้นของน้ำตาลในส่วนผสม มีผล ต่อการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซีสูงในช่วงพีเอช 2.5 ถึง 3.0 โดยน้ำตาลซูโครสสามารถเกิด เจลได้ที่ช่วงความเข้มข้นของน้ำตาล 60-70% ฟรักโทสไซรัปสามารถเกิดเจลได้ที่ช่วงความเข้มข้น ของน้ำตาล 50-70% ส่วนกลูโคสไซรัปสามารถเกิดเจลได้ที่ช่วงความเข้มข้นของน้ำตาล 50-60% และเนื่องจากผลการทดลองในตอนที่ 2 ที่ได้ศึกษาผลของค่าพีเอชของส่วนผสม ความเข้มข้น ของเจลาตินและความเข้มข้นของเพกติน แสดงให้เห็นแล้วว่าความเข้มข้นของเพกตินเป็นปัจจัยที่ มีผลต่อความหนืดของส่วนผสมมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่า การใช้น้ำตาลที่ปริมาณ ความเข้มข้นเดียวกัน กลูโคสไซรัปจะมีผลทำให้ส่วนผสมมีความข้นหนืดมากกว่าน้ำตาลซูโครส เล็กน้อย

เนื่องจากน้ำตาลซูโครสมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 100% ในขณะที่ กลูโคสไซรัปมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (จากการทดลองตอนที่ 1) เพียง 80.2% จึงเป็นไปได้ว่า การใช้น้ำตาลซูโครสในปริมาณที่เท่ากับกลูโคสไซรัป จะทำให้มีปริมาณของแข็ง ทั้งหมดในส่วนผสมสุดท้ายเพิ่มขึ้นในปริมาณที่สูงกว่าการใช้กลูโคสไซรัป ส่งผลให้สัดส่วนของ สารก่อเจลลดลงมากกว่าการใช้กลูโคสไซรัป เมื่อปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ สุดท้ายเป็น 70%

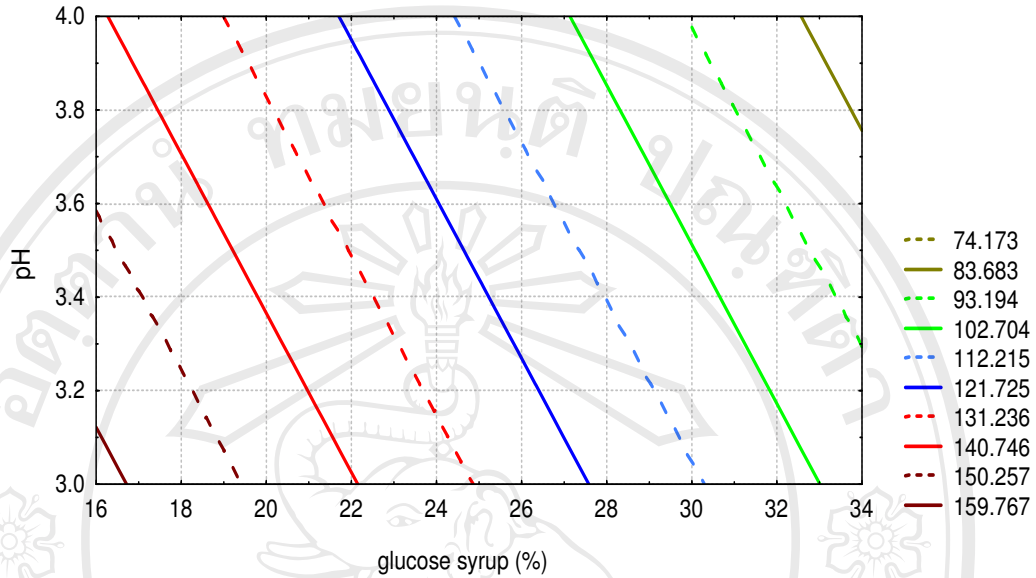


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส
 ที่มีผลต่อความหนืดของส่วนผสม



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อความหนืดของส่วนผสม

3D Contour Plot (STATEXT2.STA 11v*19c)
 $z=280.01-3.502*x-20.568*y$



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อความหนืดของส่วนผสม

4.3.2 ความแข็งแรงของเจล

เมื่อวัดความแข็งแรงของเจลกัมมีเยลลี และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่ให้ค่าความแข็งแรงของเจลมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 2 ที่มีค่าพีเอช 3.8 กลูโคสไซรัป 20% และน้ำตาลซูโครส 20% โดยมีค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 4.27 ± 0.23 นิวตัน และสิ่งทดลองที่ให้ค่าความแข็งแรงของเจลน้อยที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 12 ที่มีค่าพีเอช 3.5 กลูโคสไซรัป 33.4% และน้ำตาลซูโครส 25% โดยมีค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 0.84 ± 0.08 นิวตัน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระด้วยวิธี stepwise multiple regression ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเจลกับตัวแปรอิสระในรูปรหัสดังสมการ 4.14

$$\text{Gel strength} = 2.510 - 0.831x - 0.385y + 0.224xy + 0.163z + 0.197xz \quad (4.14)$$

$$R^2 = 0.955$$

โดยที่ x = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป ; y = ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ; z = ค่าพีเอช

เมื่อนำสมการที่ได้ข้างต้นมาทำการถอดรหัส สร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัปกับค่าความแข็งแรงของเจลในรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครสในส่วนผสม มีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของเจลจะลดน้อยลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งสองชนิดมีค่าสูงขึ้น นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 35% การเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปมีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่ 35% การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส มีผลเพียงเล็กน้อยต่อความแข็งแรงของเจลกัมมีเยลลี่ และจากการพิจารณาเส้นที่แสดงค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากัน ณ จุดตัดของแกน x และ y จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเล็กน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่าที่ปริมาณความเข้มข้นเดียวกัน การใช้น้ำตาลซูโครสทำให้ได้เจลของกัมมีเยลลี่ที่มีความแข็งแรงมากกว่ากลูโคสไซรัปเล็กน้อย

แม้ว่าการเพิ่ม co-solute เช่น น้ำตาลซูโครส และ/หรือ กลูโคสไซรัปที่ความเข้มข้น 40-50% จะช่วยในการเกิดเจลของสารก่อเจลประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ โดยเจลที่ได้จะมีความแข็งแรงและคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากขึ้น (Whittaker *et al.*, 1997) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ co-solute จาก 50% เป็น 70% กลับพบว่า เจลมีความแข็งแรงลดลง และพลังงาน enthalpy ที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากไม่เป็นระเบียบไปสู่การเป็นระเบียบ ที่วัดได้ต่อกรัมของสารพอลิเมอร์มีค่าลดลงเช่นกัน (Evagliou *et al.*, 1998) และผลการศึกษาค่าความแข็งแรงของเจลที่เตรียมได้จากเจลาติน ความเข้มข้น 3% พีเอช 3.0 โดย Al-Ruqaie *et al.* (1997) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปในช่วง 0-78% จะทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มข้นของน้ำตาล 0-58% แต่ความแข็งแรงของเจลจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 62-78%

การใช้กลูโคสไซรัปเป็นส่วนผสมร่วมกับน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่มีเจลาตินเป็นสารก่อเจล อาจเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลูโคสไซรัปกับเจลาตินขึ้นได้ เนื่องจากในพอลิเมอร์ของกลูโคสไซรัปมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากกว่า 2 หน่วย ซึ่งจะไปแย่งน้ำที่มีอยู่เป็นปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์จากเจลาติน ทำให้เจลาตินบางส่วนตกตะกอน และสูญเสียสมบัติในการเกิดเจล ความแข็งแรงของเจลจึงลดลง (Marrs, 1982)

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดความแข็งแรงของเจลและแรงเฉือนของกัมมีเยลลี และการเกิดผลึกน้ำตาลเมื่อผ่านแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส

สิ่งทดลอง	พีเอช	กลูโคสไซรัป (%)	น้ำตาลซูโครส (%)	การเกิดผลึกในผลิตภัณฑ์ *	ความแข็งแรงของเจล (นิวตัน)	แรงเฉือน (นิวตัน)
1	3.2	20	20	ไม่เกิดผลึก	3.89 ± 0.12	50.63 ± 1.29
2	3.8	20	20	ไม่เกิดผลึก	4.27 ± 0.23	53.69 ± 1.79
3	3.2	30	20	ไม่เกิดผลึก	1.62 ± 0.14	18.68 ± 1.79
4	3.8	30	20	ไม่เกิดผลึก	2.46 ± 0.17	31.86 ± 1.17
5	3.2	20	30	เกิดผลึก	2.63 ± 0.25	29.09 ± 0.82
6	3.8	20	30	เกิดผลึก	2.86 ± 0.12	36.52 ± 0.77
7	3.2	30	30	ไม่เกิดผลึก	1.30 ± 0.03	8.22 ± 0.32
8	3.8	30	30	ไม่เกิดผลึก	1.90 ± 0.13	22.86 ± 0.89
9	3.0	25	25	ไม่เกิดผลึก	2.02 ± 0.08	14.25 ± 0.65
10	4.0	25	25	ไม่เกิดผลึก	2.59 ± 0.19	31.97 ± 0.67
11	3.5	16.6	25	เกิดผลึก	3.80 ± 0.27	50.66 ± 0.48
12	3.5	33.4	25	ไม่เกิดผลึก	0.84 ± 0.08	8.40 ± 0.75
13	3.5	25	16.6	ไม่เกิดผลึก	3.06 ± 0.20	40.58 ± 1.87
14	3.5	25	33.4	เกิดผลึก	2.05 ± 0.10	21.13 ± 0.64
15	3.5	25	25	ไม่เกิดผลึก	2.78 ± 0.09	30.38 ± 2.11
16	3.5	25	25	ไม่เกิดผลึก	2.50 ± 0.15	29.72 ± 1.35
17	3.5	25	25	ไม่เกิดผลึก	2.34 ± 0.05	30.16 ± 1.38
18	3.5	25	25	ไม่เกิดผลึก	2.37 ± 0.12	29.04 ± 1.29
19	3.5	25	25	ไม่เกิดผลึก	2.39 ± 0.21	31.78 ± 2.06

หมายเหตุ ตัวเลขความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

* ตรวจสอบการเกิดผลึก ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-7 วัน

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกลูโคสไอโซร็พและค่าพีเอชของส่วนผสมกับค่าความแข็งแรงของเจล (รูปที่ 4.18) พบว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคสไอโซร็พประมาณ 20% การเพิ่มค่าพีเอชจะไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเจล แต่ที่ความเข้มข้นของกลูโคสไอโซร็พมากกว่า 20% ขึ้นไป การเพิ่มค่าพีเอชมีแนวโน้มทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งสองชนิด มีผลทำให้สัดส่วนของสารก่อเจลในส่วนผสมลดลง และการใช้ความเข้มข้นของกลูโคสไอโซร็พประมาณ 20% เป็นการเพิ่มสัดส่วนของเจลาตินและเพกทินในส่วนผสมสุดท้ายให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับความเข้มข้นของเจลาตินในรูปที่ 4.4 กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเจลาตินประมาณ 6.82-7.32% มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของส่วนผสมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลกัมมีเซลลี

เมื่อกำหนดให้ความเข้มข้นของกลูโคสไอโซร็พมีค่าคงที่ พบว่าเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของส่วนผสมที่ความเข้มข้นใดๆ ของน้ำตาลซูโครส มีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 4.19) ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองในตอนที่ 2 เนื่องจากค่าพีเอชมีผลต่อความแข็งแรงของเจลทั้งจากเจลาตินและเพกทิน และเนื่องจากเจลาตินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าเพกทิน ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอช จึงส่งผลทำให้เจลของกัมมีเซลลีที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

4.3.3 แรงเฉือน

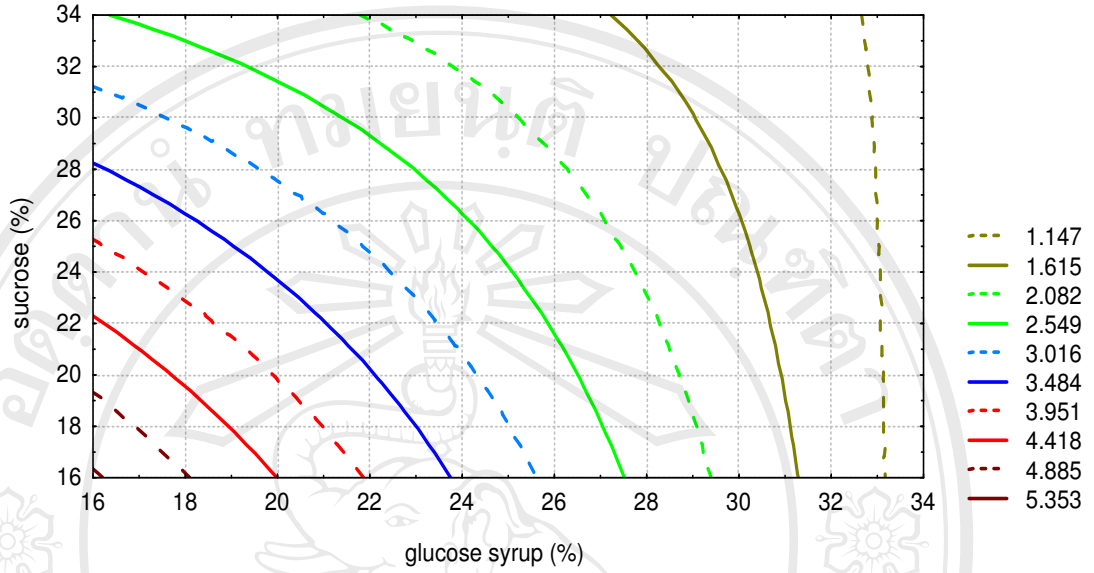
เมื่อทำการแปรผันค่าพีเอชของส่วนผสม ความเข้มข้นของกลูโคสไอโซร็พและน้ำตาลซูโครส และทำการวัดค่าแรงเฉือนของกัมมีเซลลีที่ได้ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่มีค่าแรงเฉือนมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 2 ที่มีค่าพีเอช 3.8 กลูโคสไอโซร็พ 20% และน้ำตาลซูโครส 20% โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 53.69 ± 1.79 นิวตัน และสิ่งทดลองที่มีค่าแรงเฉือนน้อยที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 12 ที่มีค่าพีเอช 3.5 กลูโคสไอโซร็พ 33.4% และน้ำตาลซูโครส 25% โดยมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 8.40 ± 0.75 นิวตัน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือนกับตัวแปรอิสระด้วยวิธี stepwise multiple regression จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงเฉือนกับตัวแปรอิสระในรูปรหัสดังสมการ 4.15

$$\text{ค่าแรงเฉือน} = 29.980 - 11.670x - 6.654y + 4.987z \quad (4.15)$$

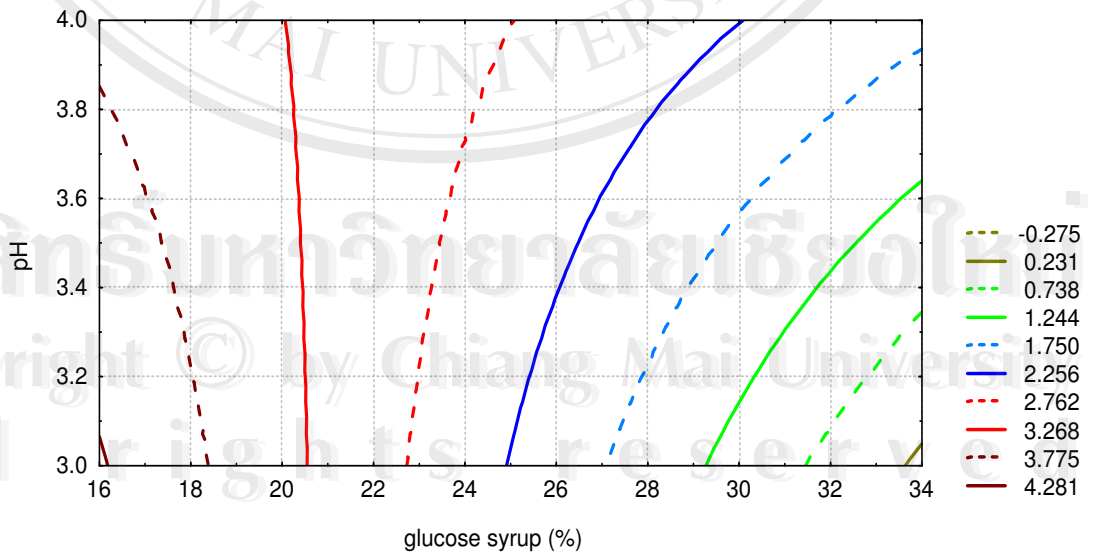
โดยที่ x = ความเข้มข้นของกลูโคสไอโซร็พ; y = ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส; z = ค่าพีเอช

3D Contour Plot (STATEXT2.STA 11v*19c)
 $z=14.19-0.392*x-0.301*y+0.009*x*y$



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส
 ที่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลกัมมีเยลลี่

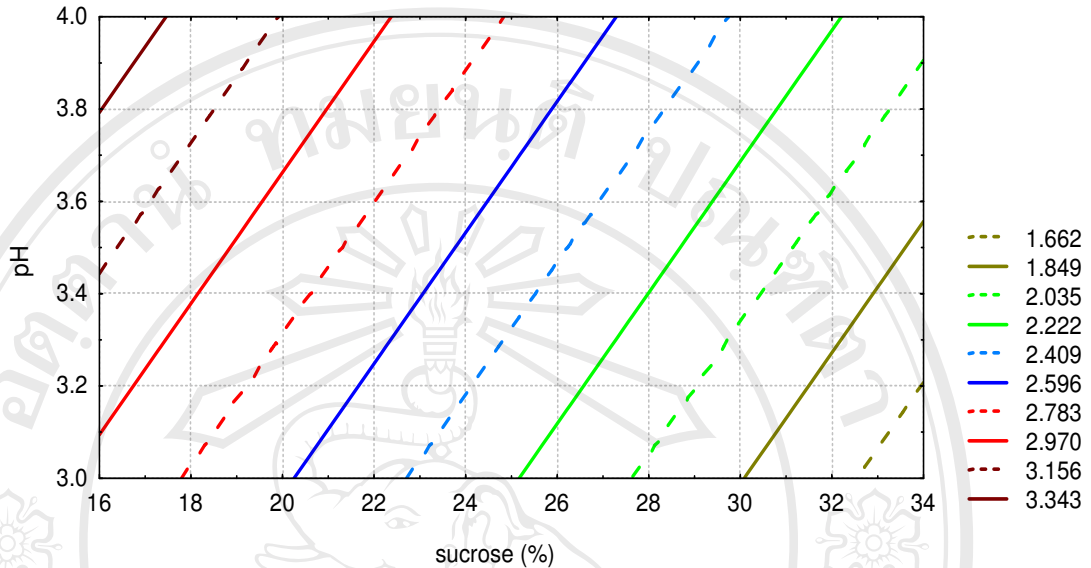
3D Contour Plot (STATEXT2.STA 11v*19c)
 $z=16.255-0.625*x-2.740*y+0.131*x*y$



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลกัมมีเยลลี่

3D Contour Plot (STATEXT2.STA 11v*19c)

$$z=2.53-0.076*x+0.535*y$$



**รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและค่าพีเอช
ที่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลกัมมีเยลลี**

เมื่อกำหนดให้พีเอชของส่วนผสมมีค่าคงที่ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป และน้ำตาลซูโครส มีผลทำให้ค่าแรงเฉือนที่วัดได้ในกัมมีเยลลีลดลง (รูปที่ 4.20) ในขณะที่การเพิ่มพีเอชมีผลทำให้ค่าแรงเฉือนในกัมมีเยลลีเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.21 และ 4.22)

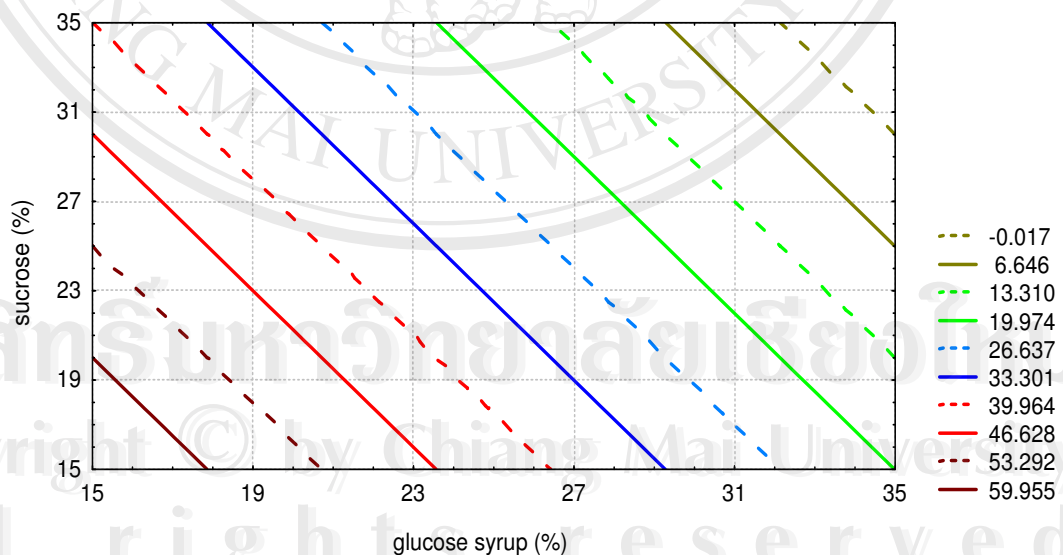
ตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 4.3.1 และ 4.3.2 แล้วว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป และน้ำตาลซูโครสมีผลโดยตรงต่อสัดส่วนของปริมาณสารก่อเจลต่อปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด กล่าวคือยิ่งความเข้มข้นของน้ำตาลในส่วนผสมเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทินในส่วนผสมมีค่าลดลงหลังจากที่ปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เป็น 70% และเนื่องจากทั้งเจลาตินและเพกทินเป็นส่วนผสมหลักที่ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจล (Burg, 1998) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อเจลในส่วนผสม จะส่งผลให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสายโมเลกุลที่เข้าใกล้กันมากขึ้น จึงมีโอกาสเกิด cross link ได้ง่าย แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าพีเอช อุณหภูมิ และเกลือ เป็นต้น (Poppe, 1995) ดังนั้น ในการทดลองนี้ เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้น หรือมีความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทินในส่วนผสมลดลง จึงส่งผลทำให้สายโมเลกุลของเจลาตินรวมทั้งเพกทินอยู่ห่างกันมากขึ้น โอกาสที่

จะเกิดเป็น โครงสร้างตาข่ายก็จะลดลง ทำให้ได้เจลที่มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ง่ายต่อการตัดให้ขาดออกจากกัน และส่งผลให้แรงเหนียวที่วัดได้มีค่าลดลง

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.21 และ 4.22 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่าพีเอชของส่วนผสม มีผลทำให้ค่าแรงเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ซึ่งแตกต่างจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่มีต่อค่าแรงเหนียวเมื่อทำการผันแปรความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทินในการทดลองตอนที่ 2 รูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการทดลองในตอนนี้นี้ ได้เลือกใช้ความเข้มข้นของเพกทินที่ระดับต่ำสุด คือ 0.33% และการที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนความเข้มข้นของเจลาตินและเพกทินในส่วนผสมลดลง จึงอาจส่งผลให้สมการการตอบสนองของค่าแรงเหนียวต่อตัวแปรอิสระ มีแนวโน้มที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ การใช้ความเข้มข้นของเพกทินที่ระดับต่ำสุด และใช้ความเข้มข้นของเจลาตินที่ระดับกลาง คือ 6% อาจส่งผลทำให้เจลาตินกลายเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงเหนียวมากขึ้น โดยเจลจะมีความแข็งแรง และมีความหนืดมากขึ้น เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ทำให้แรงเหนียวที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น

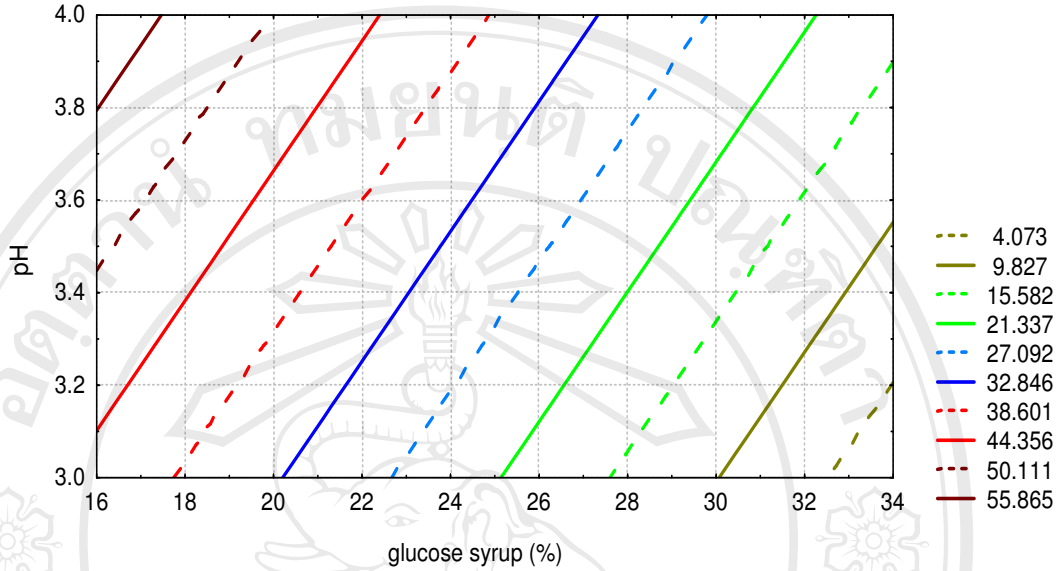
3D Contour Plot (STATEXT2.STA 11v*19c)

$$z=121.594-2.334*x-1.331*y$$



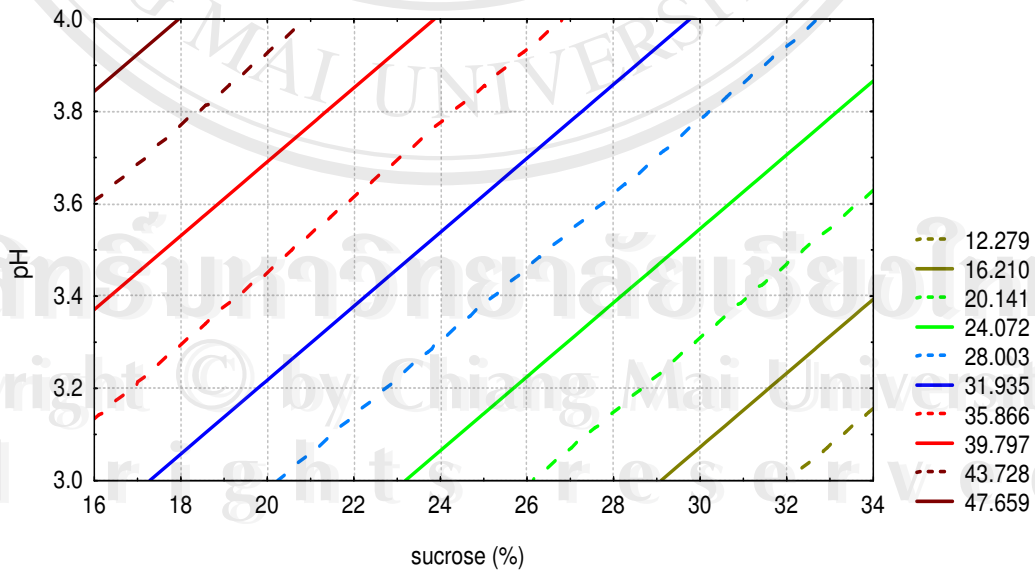
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส ที่มีผลต่อค่าแรงเหนียวของกัมมีเยลลี่

3D Contour Plot (STATEXT2.STA 11v*19c)
 $z=30.142-2.334*x+16.622*y$



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนของกัมมีเยลลี่

3D Contour Plot (STATEXT2.STA 11v*19c)
 $z=5.067-1.331*x+16.622*y$



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนของกัมมีเยลลี่

4.3.4 การเกิดผลึก

เมื่อทำการผันแปรค่าพีเอชของส่วนผสม ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป และความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส พบว่าประมาณวันที่ 5 ของการเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ในภาชนะบรรจุปิดสนิท มีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นในชั้นของตัวอย่างในกลุ่มของสิ่งทดลอง ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 5, 6, 11 และ 14 ดังแสดงตามตารางที่ 4.7 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป และความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสของกลุ่มสิ่งทดลองที่มีการเกิดผลึกขึ้นในตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าสิ่งทดลองเหล่านี้ เป็นสิ่งทดลองที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปทั้งสิ้น สำหรับสิ่งทดลองที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสต่ำกว่า หรือเท่ากับความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป ไม่พบว่ามีเกิดการเกิดผลึกในตัวอย่าง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Evageliou *et al.* (2000) ที่พบว่าการใช้น้ำตาลซูโครสเป็น co-solute ที่ความเข้มข้น 65% ทำให้เกิดผลึกของน้ำตาลขึ้นในเจลระหว่างที่ลดอุณหภูมิ ในขณะที่การใช้ co-solute เป็นกลูโคสไซรัป ไม่มีผลึกเกิดขึ้นในเจล นอกจากนี้ การศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปที่มีต่อสมบัติของเจลเจลาติน ความเข้มข้น 3% ที่พีเอชเท่ากับ 3.0 โดยการลดอุณหภูมิจาก 75 องศาเซลเซียสเป็น 5 องศาเซลเซียส พบว่า การเติม co-solute ที่มีน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 50% และเพิ่มกลูโคสไซรัปจนมีความเข้มข้นของ co-solute เท่ากับ 70% และ 78% จะทำให้เกิดผลึกเล็กๆ ของน้ำตาลขึ้นภายในเจลของเจลาติน (Al-Ruqaie *et al.*, 1997)

การใช้กลูโคสไซรัปช่วยป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด โดยทำหน้าที่เป็น doctor sugar คือ ช่วยให้น้ำตาลที่อยู่ในสภาวะเป็นสารละลายอิมัลชันด้วยวุ้นไม่ตกผลึกออกมา หรือเกิดผลึกข้างหรือย่อยลง ขึ้นอยู่กับชนิดของกลูโคสไซรัปและสัดส่วนที่ใช้ในสูตร โดยจะแตกต่างกันไปตามลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ลูกกวาดเนื้อแข็งจะมีสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสมากกว่าของแข็งที่เป็น doctor sugar ทอฟฟี่จะมีสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสเท่ากับของแข็งที่เป็น doctor sugar และมาร์ชเมลโลว์จะมีสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสน้อยกว่าของแข็งที่เป็น doctor sugar เป็นต้น (สุวรรณ, 2543)

4.3.5 Texture Profile Analysis

ผลการวัดเนื้อสัมผัสของกัมมิเยลลี่โดยวิธี Texture Profile Analysis เมื่อทำการผันแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป และความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า springiness มีค่าอยู่ในช่วง 0.95-0.98 cohesiveness มีค่าอยู่ในช่วง 0.55-0.63 gumminess มีค่าอยู่ในช่วง 4.27-14.90 นิวตัน และ chewiness มีค่าอยู่ในช่วง 4.11-14.58 นิวตัน

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่ด้วยวิธี Texture Profile Analysis
เมื่อผ่านแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส

สิ่งทดลอง	springiness	cohesiveness	gumminess (นิวตัน)	chewiness (นิวตัน)
1	0.97 ± 0.006	0.56 ± 0.001	13.82 ± 0.992	13.39 ± 0.951
2	0.98 ± 0.004	0.57 ± 0.005	14.90 ± 1.091	14.58 ± 1.059
3	0.96 ± 0.010	0.60 ± 0.016	5.98 ± 1.490	5.75 ± 1.462
4	0.98 ± 0.008	0.58 ± 0.007	8.02 ± 0.380	7.83 ± 0.333
5	0.97 ± 0.006	0.56 ± 0.005	10.49 ± 1.221	10.13 ± 1.153
6	0.96 ± 0.008	0.55 ± 0.010	9.63 ± 0.864	9.29 ± 0.806
7	0.97 ± 0.009	0.59 ± 0.014	5.74 ± 1.105	5.58 ± 1.054
8	0.97 ± 0.007	0.57 ± 0.007	7.04 ± 0.888	6.85 ± 0.845
9	0.98 ± 0.007	0.58 ± 0.009	7.74 ± 0.305	7.56 ± 0.261
10	0.96 ± 0.006	0.56 ± 0.004	9.01 ± 0.971	8.67 ± 0.904
11	0.96 ± 0.009	0.56 ± 0.006	13.16 ± 2.579	12.59 ± 2.426
12	0.96 ± 0.010	0.62 ± 0.030	4.27 ± 1.774	4.11 ± 1.711
13	0.95 ± 0.012	0.56 ± 0.004	10.38 ± 1.243	9.90 ± 1.103
14	0.97 ± 0.009	0.57 ± 0.006	7.59 ± 0.682	7.37 ± 0.680
15	0.96 ± 0.005	0.57 ± 0.012	9.08 ± 0.959	8.75 ± 0.927
16	0.96 ± 0.008	0.57 ± 0.006	9.30 ± 0.967	8.96 ± 0.932
17	0.97 ± 0.005	0.58 ± 0.007	9.54 ± 0.718	9.28 ± 0.738
18	0.98 ± 0.008	0.58 ± 0.009	8.22 ± 0.397	8.05 ± 0.374
19	0.98 ± 0.008	0.58 ± 0.008	8.30 ± 0.444	8.15 ± 0.442

หมายเหตุ ตัวเลขผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

เมื่อนำข้อมูลของค่าเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองไปหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ ด้วยวิธี stepwise multiple regression ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ในรูปรหัสดังสมการที่ 4.16 ถึงสมการที่ 4.18

$$\text{Cohesiveness} = 0.575 + 0.015x \quad (4.16)$$

$$R^2 = 0.603$$

$$\text{Gumminess} = 9.060 - 2.709x - 1.061y + 0.922xy + 0.417z \quad (4.17)$$

$$R^2 = 0.948$$

$$\text{Chewiness} = 8.782 - 2.603x - 1.026y + 0.913xy \quad (4.18)$$

$$R^2 = 0.922$$

โดยที่ x = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป ; y = ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ; z = ค่าพีเอช

เนื่องจากสมการถดถอยของค่า springiness มีค่าสัมประสิทธิ์ความถูกต้อง หรือค่า R^2 เพียง 0.340 จึงไม่นำสมการความสัมพันธ์มาแสดงไว้ในที่นี้ โดยตัวแปรอิสระ ได้แก่ ค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป และความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสไม่มีผลต่อการตอบสนองของค่า springiness ในเชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทำให้ไม่มีความแม่นยำพอที่จะใช้ทำนายความสัมพันธ์ได้ อย่างไรก็ตาม ค่า springiness ที่วัดได้ในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ย คือ 0.972

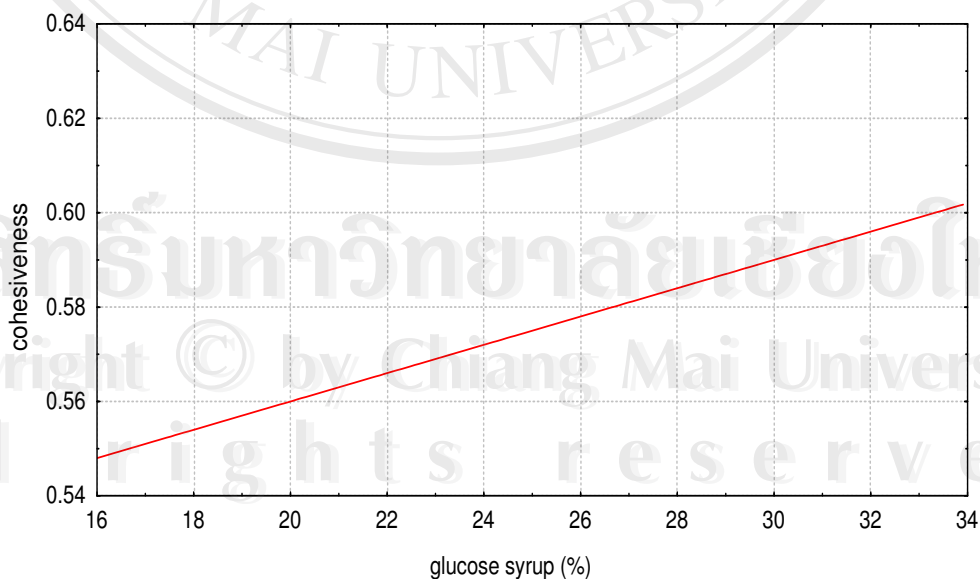
เมื่อนำสมการถดถอยข้างต้นมาทำการถอดรหัส และสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.23 ถึงรูปที่ 4.27 ซึ่งพบว่าผลการทดสอบเนื้อสัมผัส ตามวิธี Texture Profile Analysis ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า cohesiveness ของกัมมีเยลลี มีเพียงความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปเท่านั้น เมื่อความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปในส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า cohesiveness ในกัมมีเยลลีเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่คงที่ (รูปที่ 4.23) ในส่วนของค่า gumminess พบว่าทั้งค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครสในส่วนผสม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าดังกล่าว โดยเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า gumminess ในกัมมีเยลลีลดลง และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปที่ระดับสูงขึ้นไปในช่วงประมาณ 27-32% จะทำให้กัมมีเยลลีมีค่า gumminess ที่ค่อนข้างคงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลงไปตาม การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส (รูปที่ 4.24) และเมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลทั้งสองชนิดและค่าพีเอชที่มีต่อค่า gumminess ในรูปที่ 4.25 และ 4.26 จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดให้

ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปอยู่ที่ระดับกลาง คือ 25% การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในช่วง 15-35% ที่ช่วงพีเอช 3.0-4.0 จะให้ค่า gumminess ที่มีความผันแปรในช่วงที่แคบกว่าเมื่อกำหนดให้ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสคงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป โดยมีค่า gumminess เท่ากับ 6.86-11.41 และ 4.16-14.11 ตามลำดับ สำหรับการผันแปรค่าพีเอชของส่วนผสมในช่วง 3.0-4.0 พบว่า การเพิ่มค่าพีเอชของส่วนผสมมีผลทำให้ค่า gumminess ในกัมมีเยลลีเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่ ดังรูปที่ 4.25 และ 4.26

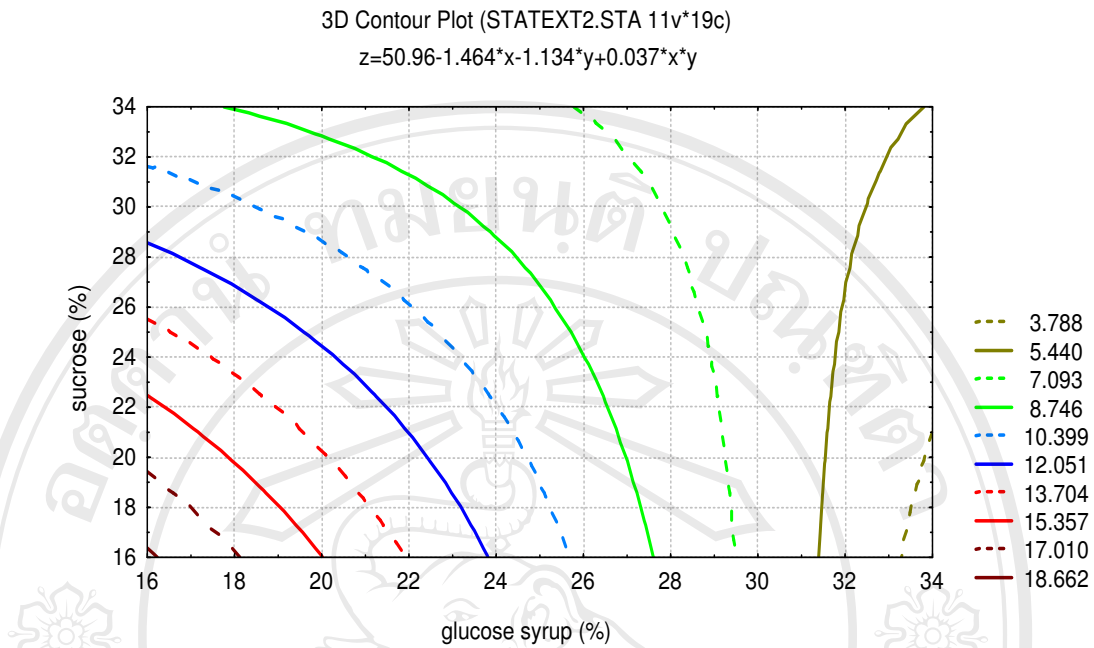
เมื่อพิจารณาสมการถดถอยของค่า chewiness กับตัวแปรอิสระ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่า chewiness ได้แก่ ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในส่วนผสม โดยเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า chewiness ในกัมมีเยลลีลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ให้ผลคล้ายกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครสที่มีผลต่อค่า gumminess ในรูปที่ 4.24 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการคำนวณค่า chewiness ได้จากการนำค่า gumminess มาคูณด้วยค่า springiness และเนื่องจากค่า springiness ที่ได้ในการทดลองนี้มีความแปรผันในช่วงที่แคบมาก หรือมีค่าค่อนข้างคงที่ จึงทำให้แนวโน้มของค่า chewiness เมื่อทำการแปรผันความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในส่วนผสม มีความคล้ายคลึงกันกับการเปลี่ยนแปลงของค่า gumminess

Line Plot (STATEST2.STA 11v*19c)

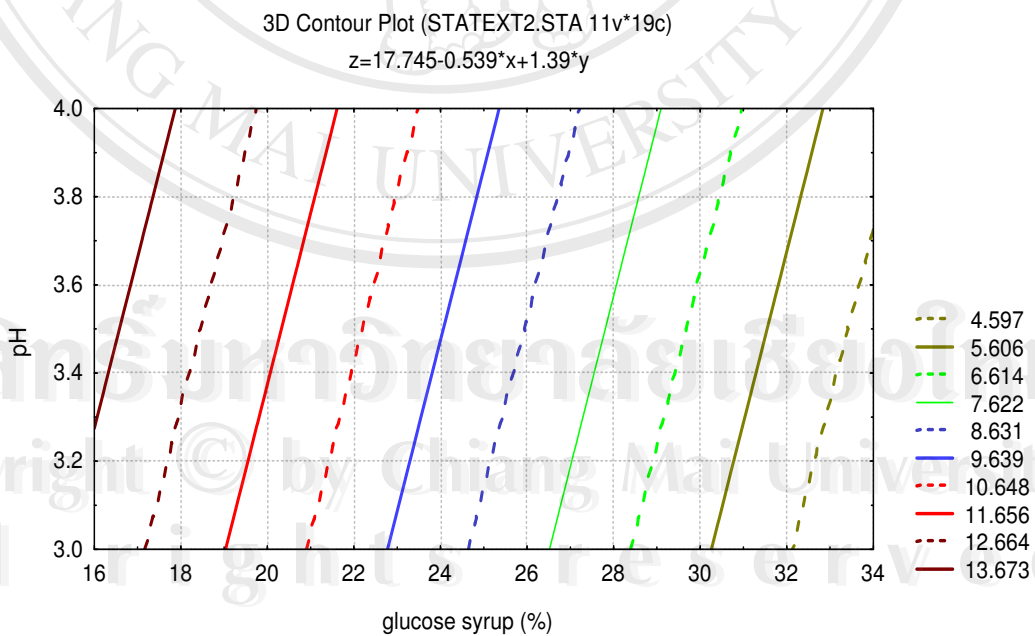
$$z=0.5+0.003*x$$



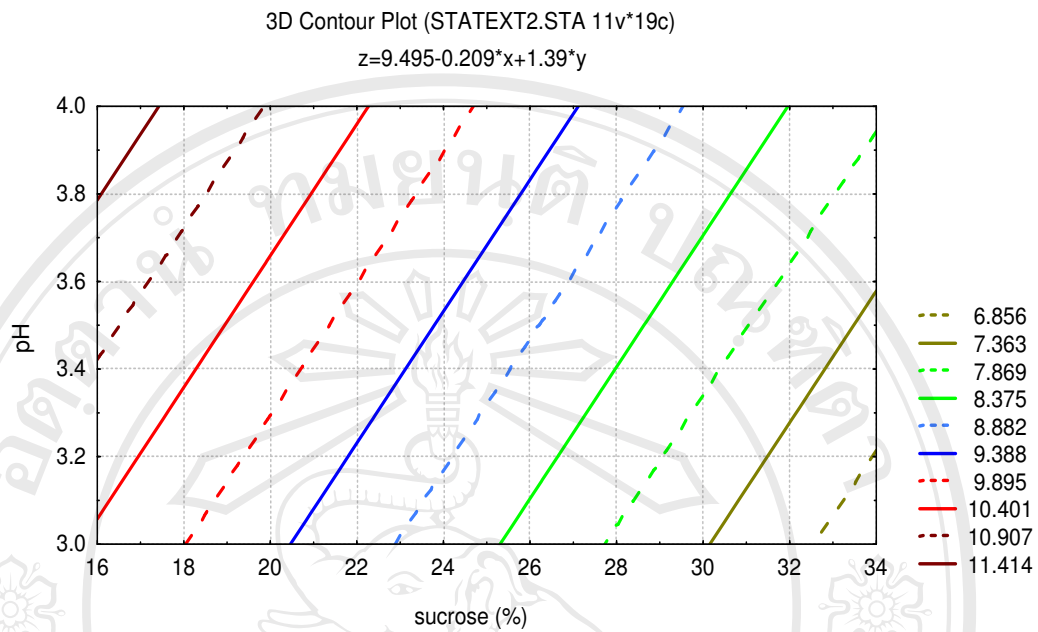
รูปที่ 4.23 ค่า cohesiveness ของกัมมีเยลลี ที่ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัประดับต่างๆ



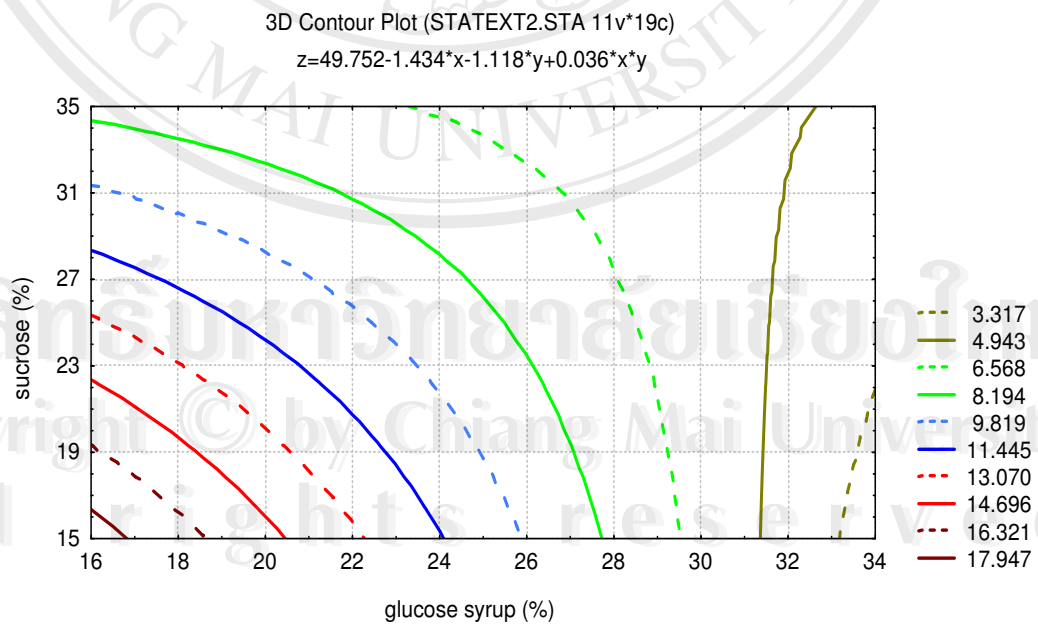
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส
 ที่มีผลต่อค่า gumminess ของกัมมีเยลลี่



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อค่า gumminess ของกัมมีเยลลี่



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและค่าพีเอช ที่มีผลต่อค่า gumminess ของกัมมีเยลลี่



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส ที่มีผลต่อค่า chewiness ของกัมมีเยลลี่

4.3.6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวนทั้งหมด 19 คน ประเมินความชอบที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ ได้แก่ ความนุ่ม ความเหนียว ความยืดหยุ่น ความชอบรวมต่อเนื้อสัมผัส รสหวาน รสเปรี้ยว ความชอบรวมต่อรสชาติ และการยอมรับรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการแปรผันค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป และความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ผลการทดลองดังแสดงไว้ในภาคผนวก (ตาราง ข.4)

จากตารางที่ 4.9 พบว่าสิ่งทดลองที่ 9 ที่มีค่าพีเอชของส่วนผสมเท่ากับ 3.0 และมีความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัปเท่ากัน คือ 25% มีคะแนนความชอบมากที่สุด ในด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวม โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.74, 7.45 และ 7.75 ตามลำดับ สำหรับสิ่งทดลองที่มีคะแนนความชอบน้อยที่สุด ในด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวม คือ สิ่งทดลองที่ 11 ที่มีค่าพีเอชของส่วนผสม 3.5 ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป 16.6% และความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสระดับกลาง 25% โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 3.81, 5.99 และ 4.91 ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบในด้านต่างๆ ที่คำนวณได้จากแผนการทดลองแบบ BIB ที่ปรับค่าแล้ว ไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองกับตัวแปรอิสระ ด้วยวิธี stepwise multiple regression ได้สมการในรูปรหัส ดังสมการที่ 4.19 ถึงสมการที่ 4.26

$$\begin{aligned} \text{ความนุ่ม} &= 6.338 - 0.609x^2 + 0.611y - 0.453z + 0.448x & (4.19) \\ R^2 &= 0.794 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเหนียว} &= 5.867 + 0.780x + 0.767y - 0.485z - 0.377x^2 & (4.20) \\ R^2 &= 0.864 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยืดหยุ่น} &= 6.219 + 0.634y - 0.533x^2 + 0.459x & (4.21) \\ R^2 &= 0.756 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความชอบต่อเนื้อสัมผัส} &= 6.127 + 0.730x - 0.584y^2 + 0.555y - 0.361z^2 & (4.22) \\ R^2 &= 0.822 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รสหวาน} &= 6.702 + 0.244z^2 - 0.240z + 0.128y - 0.165xy & (4.23) \\ R^2 &= 0.873 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รสเปรี้ยว} &= 6.315 - 0.329z + 0.172z^2 \\ R^2 &= 0.636 \end{aligned} \quad (4.24)$$

$$\begin{aligned} \text{ความชอบต่อรสชาติ} &= 6.354 - 0.273z + 0.223z^2 - 0.238xy \\ R^2 &= 0.680 \end{aligned} \quad (4.25)$$

$$\begin{aligned} \text{การยอมรับรวม} &= 6.191 + 0.486x - 0.321y^2 - 0.315z + 0.290y - 0.251z^2 \\ R^2 &= 0.821 \end{aligned} \quad (4.26)$$

โดยที่ x = ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ; y = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป ; z = ค่าพีเอช

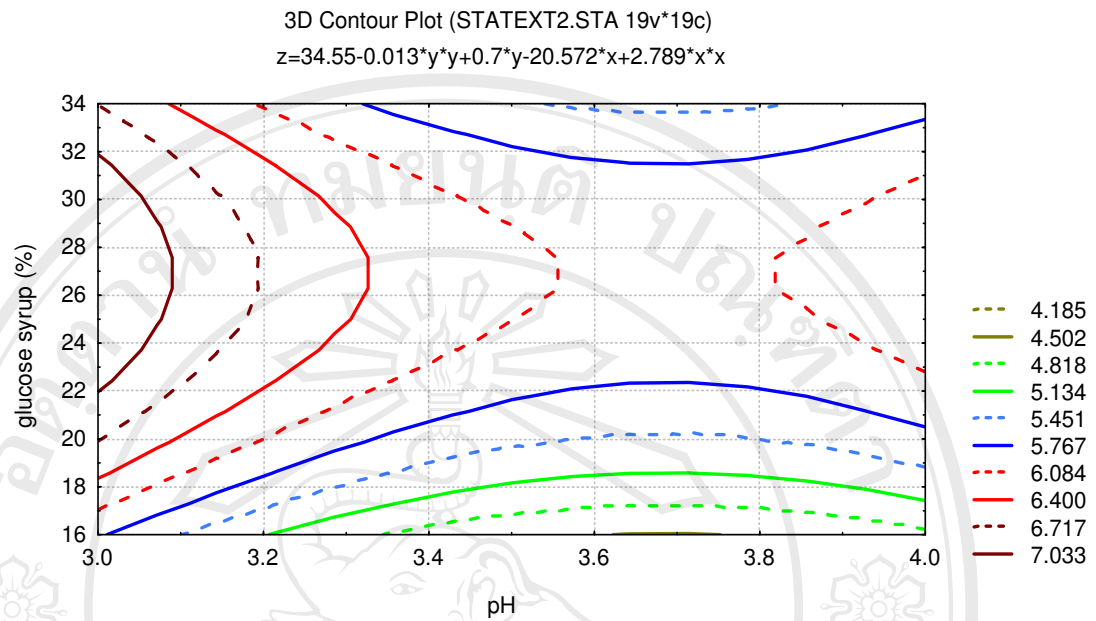
เมื่อพิจารณาสมการความสัมพันธ์แบบถดถอยของตัวแปรอิสระที่มีต่อคะแนนความชอบในลักษณะต่างๆ จะเห็นว่าสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) มากกว่า 0.750 ได้แก่ สมการที่ 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 และ 4.26 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของคะแนนความชอบต่อความนุ่ม ความเหนียว ความยืดหยุ่น ความชอบต่อเนื้อสัมผัส ความชอบต่อรสหวาน และการยอมรับรวมต่อผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ สำหรับสมการที่ 4.24 และ 4.25 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของคะแนนความชอบต่อรสเปรี้ยว และความชอบต่อรสชาติ พบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) น้อยกว่า 0.750 โดยมีค่าเท่ากับ 0.636 และ 0.680 ตามลำดับ

เมื่อนำสมการถดถอยของคะแนนการยอมรับรวมต่อผลิตภัณฑ์ มาทำการถอดรหัส และสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.28 ถึงรูปที่ 4.34 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและค่าพีเอชที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ก็มีผลลิในรูปที่ 4.28 พบว่าคะแนนการยอมรับรวมมีค่ามากขึ้นเมื่อพีเอชของส่วนผสมลดลง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป คะแนนการยอมรับรวมจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปมีค่าเท่ากับ 27% โดยประมาณ หลังจากนั้นคะแนนการยอมรับรวมจะลดลง ถึงแม้มีการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปมากขึ้น (รูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.30)

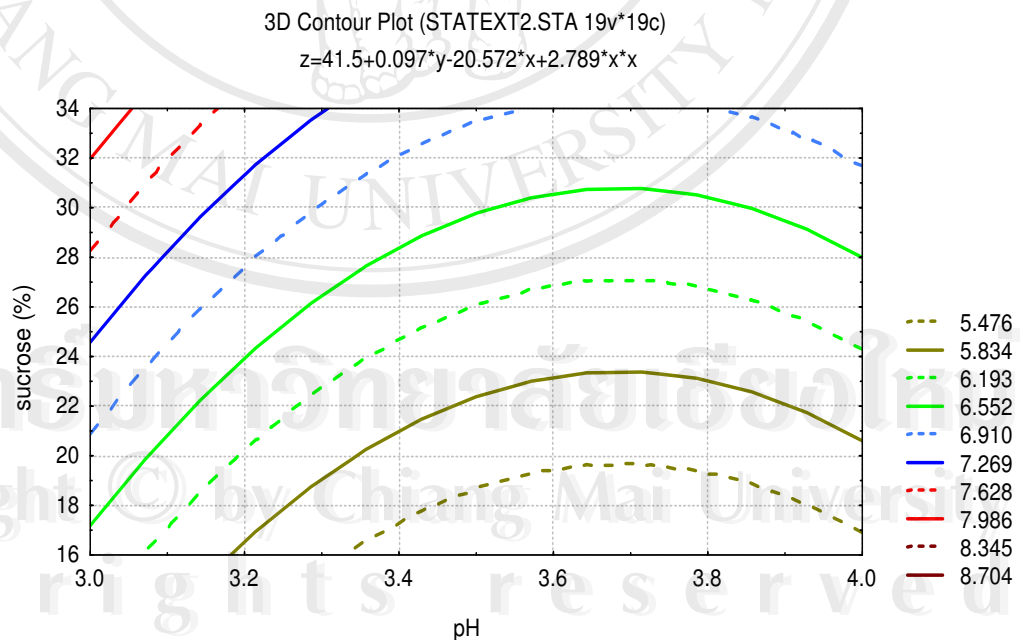
ตารางที่ 4.9 คะแนนผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของกัมมีเยลลี่ เมื่อผันแปรค่าพีเอช ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส

สิ่งทดลอง	พีเอช	กลูโคส ไซรัป (%)	น้ำตาล ซูโครส (%)	ความชอบรวม ต่อเนื้อสัมผัส	ความชอบรวม ต่อรสชาติ	การยอมรับรวม
1	3.2	20	20	4.18	6.62	5.36
2	3.8	20	20	4.07	6.01	5.09
3	3.2	30	20	6.57	7.22	6.90
4	3.8	30	20	5.03	6.43	5.51
5	3.2	20	30	5.74	7.06	6.52
6	3.8	20	30	5.61	6.21	6.13
7	3.2	30	30	6.50	6.32	6.41
8	3.8	30	30	7.09	6.07	6.92
9	3.0	25	25	7.73	7.47	7.75
10	4.0	25	25	5.51	6.74	6.10
11	3.5	16.6	25	3.81	5.99	4.91
12	3.5	33.4	25	4.98	6.61	5.70
13	3.5	25	16.6	4.24	6.08	4.96
14	3.5	25	33.4	7.14	6.71	7.05
15	3.5	25	25	5.91	6.20	6.20
16	3.5	25	25	6.16	6.59	6.35
17	3.5	25	25	6.18	6.10	6.20
18	3.5	25	25	6.22	6.58	6.52
19	3.5	25	25	5.75	6.75	6.09

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบที่ได้ทำการปรับค่าแล้ว (adjusted mean) โดยใช้โปรแกรมการคำนวณของการวางแผนการทดลองแบบ BIB

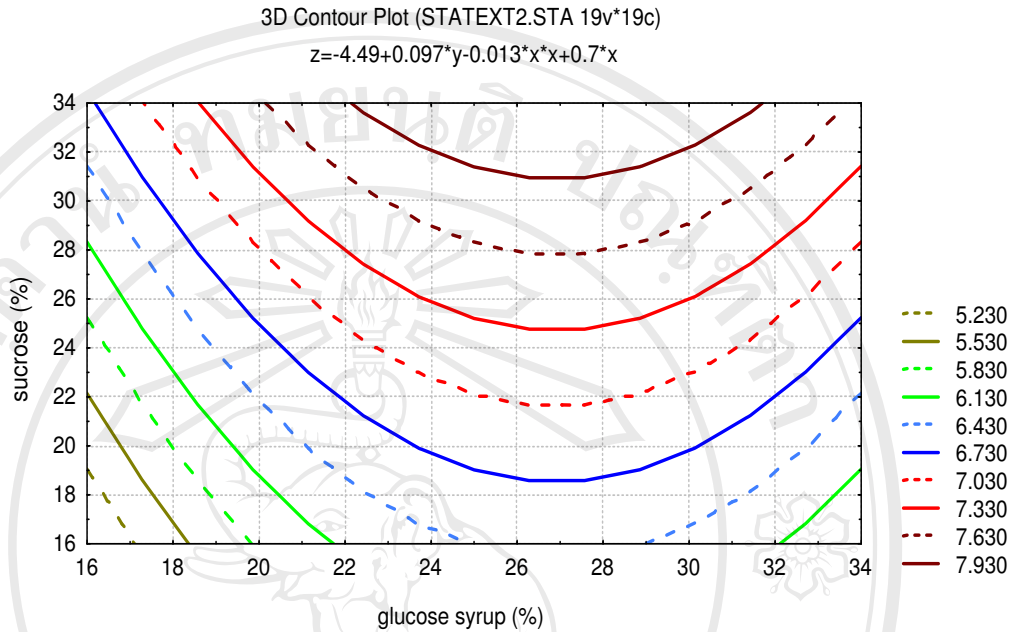


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและค่าพีเอช
 ที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปและน้ำตาลซูโครส
 ที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่

จากสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อคะแนนความชอบด้านรสหวาน คะแนนความชอบรวมด้านเนื้อสัมผัส และคะแนนการยอมรับรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ มากกว่า 0.750 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมของตัวแปร x , y และ z ที่ให้คะแนนความชอบสูงสุด โดยใช้โปรแกรม MathCad 7.03 และเนื่องจากสัดส่วนของน้ำตาลที่ใช้มีผลต่อการเกิดผลึกในกัมมีเยลลี่ ดังนั้นในการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมดังกล่าว จึงจำเป็นต้องกำหนดความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปเสมอ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำตาลขึ้นในตัวอย่าง ซึ่งผลจากการคำนวณ พบว่า ค่าของตัวแปรที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป 27.5% ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 27.5% และค่าพิสของส่วนผสมเท่ากับ 3.0 และค่าที่คำนวณได้ของตัวแปรดังกล่าว จะถูกนำไปใช้เป็นสูตรพื้นฐานของการทดลองในตอนต่อไป

4.4 ผลของการเติมน้ำผลไม้ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่

การทดลองนี้ได้ศึกษาผลของการเติมน้ำผลไม้ในส่วนผสม โดยใช้สูตรพื้นฐานที่ได้คัดเลือกมาจากผลการทดลองตอนที่ 3 ซึ่งมีความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป 27.5% น้ำตาลซูโครส 27.5% เจลาติน 6.0% เพกทิน 0.33% กลิ่นสับปะรด 1.2% และฟิเอชของส่วนผสมเท่ากับ 3.0 น้ำผลไม้ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ น้ำสับปะรดและน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 12.5% และ 15.6% ตามลำดับ โดยศึกษาการเติมน้ำผลไม้ในส่วนผสม ที่ 3 ระดับ คือ 20, 25 และ 30% ของส่วนผสมทั้งหมด 500 กรัม และวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 ถึง ตารางที่ 4.17

4.4.1 ความหนืดของส่วนผสม

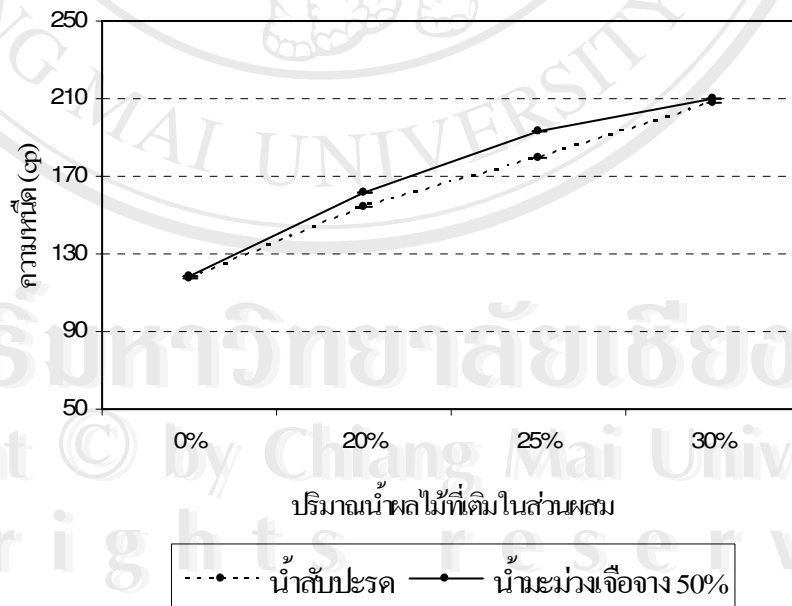
ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของส่วนผสมเมื่อทำการแปรผันปริมาณของน้ำสับปะรดและน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ในส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.31 พบว่าความหนืดของส่วนผสมในแต่ละสูตรมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณของน้ำผลไม้ที่เพิ่มขึ้น และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 30% ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้นจาก 117.25 centipoise เป็น 207.80 centipoise และสำหรับการเติมน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ในปริมาณ 30% ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้นจาก 118.65 centipoise เป็น 209.85 centipoise

ตารางที่ 4.10 ความหนืดของส่วนผสมก่อนเทลงพิมพ์แบ่ง ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส เมื่อผันแปรปริมาณน้ำผลไม้ในส่วนผสม

ปริมาณน้ำผลไม้ (%)	ความหนืดของส่วนผสม (centipoise)	
	น้ำสับปะรด	น้ำมะม่วงเงี้ยว 50%
0	117.25 \pm 6.72 ^a	118.65 \pm 2.76 ^a
20	154.05 \pm 0.92 ^b	161.25 \pm 0.78 ^b
25	179.79 \pm 4.46 ^c	187.40 \pm 2.83 ^c
30	207.80 \pm 1.84 ^d	209.85 \pm 3.32 ^d

- หมายเหตุ 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ
2. ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติในแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของส่วนผสมระหว่างน้ำสับปะรดและน้ำมะม่วง พบว่าน้ำมะม่วง จะให้ค่าความหนืดสูงกว่าน้ำสับปะรด ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบของน้ำมะม่วงส่วนใหญ่จะเป็นเพกทินชนิดที่ละลายน้ำได้ จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ามีเพกทินทั้งหมดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 450 มิลลิกรัมต่อเนื้อมะม่วง 100 กรัม (Vasquez-Caicedo *et al.*, 2002) สำหรับสับปะรดนั้นมีเพกทินน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย (Chen and Paull, 2003) นอกจากนี้ ในเนื้อมะม่วงยังมีสารอาหารอื่นนอกจากน้ำตาลหรือของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนประกอบอยู่ เช่น Vasquez-Caicedo *et al.* (2002) รายงานว่ามีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.83% และจากรายงานของ Li *et al.* (2002) เส้นใยอาหารในมะม่วงมีค่าเท่ากับ 1.76% และเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำถึง 1.08% และเนื่องจากน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ยังมีเนื้อมะม่วงปนมาจำนวนมาก ดังนั้น จึงเป็นไปได้ที่จะยังมีปริมาณของของแข็งชนิดที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เมื่อปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในส่วนผสมให้มีค่าเท่ากับ 70% จึงทำให้มีปริมาณเนื้อผลไม้หรือเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีค่าความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น และอาจส่งผลให้ส่วนผสมก่อนเทลงพิมพ์ของกัมมีเซลลิวะม่วงมีความหนืดมากกว่าส่วนผสมของกัมมีเซลลิวส์สับปะรด



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของส่วนผสมและปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม

4.4.2 ความแข็งแรงของเจล

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเจลของกัมมีเซลลีเมื่อทำการแปรผันปริมาณของการเติมน้ำสับปะรดและปริมาณของน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ในส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.32 พบว่าความแข็งแรงของเจลของกัมมีเซลลีมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณของน้ำผลไม้ที่เพิ่มขึ้น โดยการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 30% ของส่วนผสม ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นจาก 1.90 นิวตัน เป็น 2.26 นิวตัน สำหรับการเติมน้ำมะม่วง พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ไม่แตกต่างกันในกลุ่มตัวอย่างที่มีการเติมน้ำมะม่วง การที่ความแข็งแรงของเจลของกัมมีเซลลีในสูตรที่เติมน้ำผลไม้ มีค่ามากกว่ากัมมีเซลลีในสูตรควบคุม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณของเพกทินที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ที่เติมลงในส่วนผสมเพิ่มขึ้นถึง 20% แต่การเพิ่มความเข้มข้นของเพกทินในส่วนผสมมีผลต่อความแข็งแรงของเจลเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ปริมาณน้ำผลไม้ที่แตกต่างกัน 5% จึงไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

นอกจากนั้นยังพบว่า การเติมน้ำสับปะรดทำให้ได้กัมมีเซลลีที่มีความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมน้ำมะม่วงเงี้ยว โดยการเติมน้ำผลไม้ทั้งสองในปริมาณ 30% จะได้กัมมีเซลลีสับปะรดที่มีความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 2.26 นิวตัน ในขณะที่ กัมมีเซลลีมะม่วงมีความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 2.17 นิวตัน

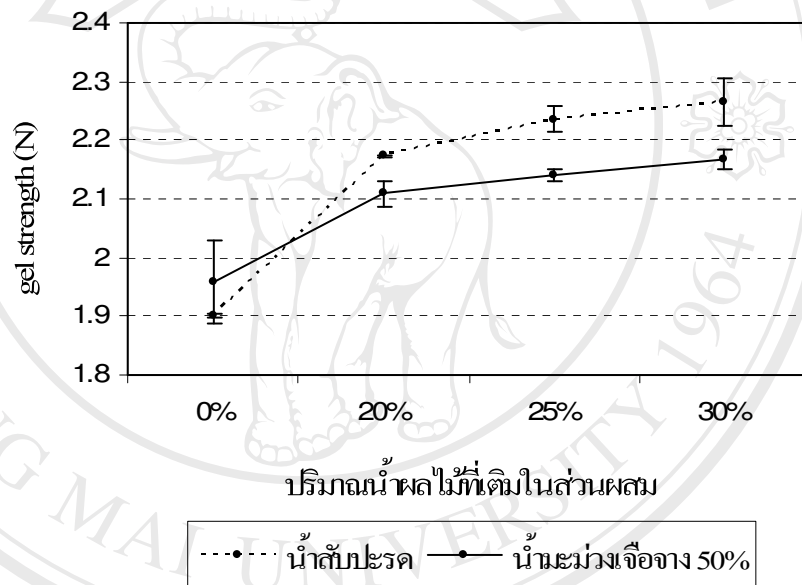
ตารางที่ 4.11 ความแข็งแรงของเจลในกัมมีเซลลีเมื่อผันแปรปริมาณน้ำผลไม้ในส่วนผสม

ปริมาณน้ำผลไม้ (%)	ความแข็งแรงของเจล (นิวตัน)	
	น้ำสับปะรด	น้ำมะม่วงเงี้ยว 50%
0	1.90 ± 0.003 ^a	1.96 ± 0.070 ^a
20	2.17 ± 0.001 ^b	2.11 ± 0.022 ^b
25	2.24 ± 0.021 ^{bc}	2.14 ± 0.011 ^b
30	2.26 ± 0.041 ^c	2.17 ± 0.017 ^b

หมายเหตุ 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

2. ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบทางเคมีในน้ำมะม่วงเงือก 50% และน้ำสับปะรด ในตารางที่ 3.7 จะเห็นได้ว่า น้ำมะม่วงเงือก 50% และน้ำสับปะรด มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.034 และ 1.041 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 7.8% และ 12.5% ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 6.32% และ 10.47% ตามลำดับ และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก เท่ากับ 0.24% และ 0.58% ตามลำดับ การที่น้ำสับปะรดมีปริมาณส่วนประกอบต่างๆ ดังกล่าวมากกว่าในน้ำมะม่วง อาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กัมมีเฮลลีสับปะรดมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่ากัมมีเฮลลีมะม่วง



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเจลและปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม

นอกจากนั้น Chenchin and Yamamoto (1978) ได้รายงานว่าในน้ำสับปะรดมีกาแลคโตแมนแนน (galactomannan) ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจัดเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดที่เป็นกลาง เนื่องจากไม่มีกรดน้ำตาล (acid sugar) มาจับในโมเลกุล สารพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดนี้สามารถเปลี่ยนรูปเป็นกัม และมักจับติดอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ จึงเป็นไปได้ว่าการเติมน้ำสับปะรด จะเป็นการเพิ่มปริมาณของกัมในส่วนผสม และมีผลทำให้กัมมีเฮลลีสับปะรด มีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มสูงขึ้น

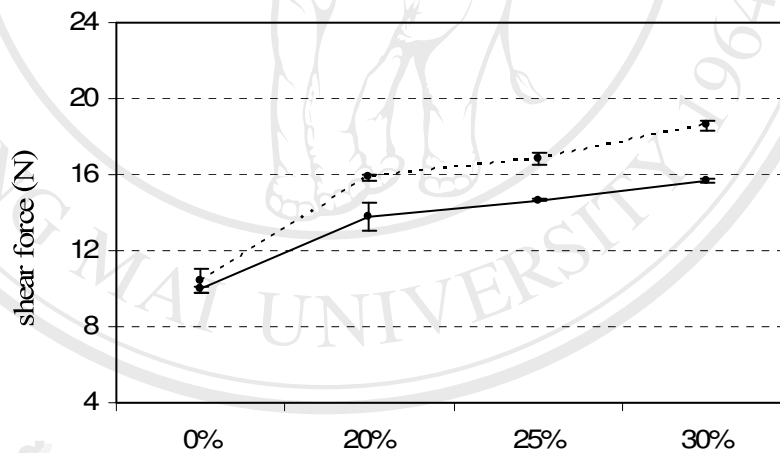
4.4.3 แรงเฉือน

ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนในเจลกัมมีเยลลี เมื่อทำการแปรผันปริมาณของการเติมน้ำสับปะรดและปริมาณของน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ในส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.33 พบว่าแรงเฉือนในเจลกัมมีเยลลีมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณของน้ำผลไม้ที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณของน้ำสับปะรดในแต่ละสูตร พบว่าทำให้เจลกัมมีเยลลีมีค่าแรงเฉือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 30% เจลกัมมีเยลลี มีค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจาก 10.41 นิวตัน เป็น 18.58 นิวตัน สำหรับการเติมน้ำมะม่วงเงี้ยว พบว่าเจลกัมมีเยลลีที่ได้ในแต่ละระดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเติมน้ำมะม่วงเงี้ยวในปริมาณ 30% ทำให้กัมมีเยลลีมีค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจาก 9.96 นิวตัน เป็น 15.70 นิวตัน นอกจากนี้ การเติมน้ำสับปะรดทำให้ กัมมีเยลลีที่ได้มีค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมน้ำมะม่วงเงี้ยว โดยการเติมน้ำผลไม้ในปริมาณ 30% ทำให้กัมมีเยลลีสับปะรดมีค่าแรงเฉือนของเจลเท่ากับ 18.58 นิวตัน ในขณะที่กัมมีเยลลีมะม่วงมีค่าแรงเฉือนของเจลเท่ากับ 15.70 นิวตัน ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำสับปะรดมีกาแลคโตแมนแนนเป็นส่วนประกอบอยู่ และกาแลคโตแมนแนนยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของกัมชนิดต่างๆ เช่น โคลัสปีนกัมและกัวกัม โดยปริมาณของกาแลคโตแมนแนนสามารถใช้เป็นดัชนีชี้บ่งคุณภาพที่ดีของกัมทั้งสองชนิด ซึ่งควรมีปริมาณกาแลคโตแมนแนนประมาณ 80% และ 90% ตามลำดับ (Jonas, 1974) การศึกษา การเกิดเจลของสตาร์ชข้าวโพดร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ กาแลคโตแมนแนน ในช่วงความเข้มข้น 0.1-0.5% พบว่า กาแลคโตแมนแนนช่วยเร่งกลไกของการเกิดเจล และยังช่วยให้โครงสร้างตาข่ายเจลมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สตาร์ชข้าวโพดเพียงอย่างเดียว (Alloncle and Doublier, 1991) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการใช้โคลัสปีนกัม กัวกัม และแคลป้า-คาราจีแนน ร่วมกับสตาร์ชข้าวโพด นอกจากนั้นยังพบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์ดังกล่าว ช่วยทำให้เจลของสตาร์ชมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม (Eidam *et al.*, 1995)

ตารางที่ 4.12 ค่าแรงเฉือนในกัมมีเยลลีเมื่อผันแปรปริมาณน้ำผลไม้ในส่วนผสม

ปริมาณน้ำผลไม้ (%)	แรงเฉือน (นิวตัน)	
	น้ำสับปรด	น้ำมะม่วงเงีจาง 50%
0	10.41 ± 0.63 ^a	9.96 ± 0.18 ^a
20	15.85 ± 0.19 ^b	13.79 ± 0.76 ^b
25	16.83 ± 0.31 ^b	14.67 ± 0.04 ^c
30	18.58 ± 0.26 ^c	15.70 ± 0.14 ^d

- หมายเหตุ 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ
 2. ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม

..... น้ำสับปรด — น้ำมะม่วงเงีจาง 50%

รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือนและปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม

4.4.4 Texture Profile Analysis

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลีโดยวิธี Texture Profile Analysis เมื่อทำการผันแปรปริมาณของน้ำสับปะรดหรือน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ในส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.34 ถึงรูปที่ 4.36 ตามลำดับ

เมื่อทำการแปรผันปริมาณของน้ำสับปะรดทดแทนน้ำที่มีอยู่ในส่วนผสม พบว่าการเติมน้ำสับปะรดมีผลทำให้เจลของกัมมีเยลลีมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยการเติมในปริมาณ 30% จะทำให้เจลของกัมมีเยลลีมีค่า springiness หรือมีความยืดหยุ่นแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่การเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 20% และ 25% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 30% โดยค่า springiness ของกัมมีเยลลีที่มีการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 30% จะเพิ่มจาก 0.94 เป็น 0.95 ขณะที่ค่า cohesiveness ของกัมมีเยลลีระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ไม่แตกต่างกันในระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เติมน้ำสับปะรด โดยค่า cohesiveness ของกัมมีเยลลีในสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 30% มีค่าเป็น 0.59

สำหรับค่า gumminess และค่า chewiness ของกัมมีเยลลีสับปะรดนั้น พบว่าให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของน้ำสับปะรดที่เติมทดแทนน้ำในส่วนผสมมีค่ามากขึ้น โดยมีความแตกต่างระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ไม่แตกต่างกันในระหว่างกลุ่มของสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรด โดยการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 30% ทำให้กัมมีเยลลีมีค่า gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้นจาก 8.65 และ 8.17 เป็น 12.17 และ 11.59 ตามลำดับ

เมื่อทำการแปรผันปริมาณของน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ในส่วนผสม พบว่าการเติมน้ำมะม่วงมีผลทำให้เจลของกัมมีเยลลีมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น การเติมน้ำมะม่วงในปริมาณ 30% จะทำให้เจลของกัมมีเยลลีมีค่า springiness หรือมีความยืดหยุ่นแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่การเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 20% และ 25% พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำมะม่วงในปริมาณ 30% เช่นเดียวกับกรณีของการเติมน้ำสับปะรด โดยค่า springiness ของกัมมีเยลลีที่มีการเติมน้ำมะม่วงในปริมาณ 30% มีค่าเป็น 0.96 ขณะที่ค่า cohesiveness ของกัมมีเยลลีมะม่วงมีความแตกต่างกันระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำมะม่วงเงี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่า cohesiveness ของกัมมีเยลลีที่เติมน้ำมะม่วงเงี้ยวในปริมาณ 30% มีค่า cohesiveness เป็น 0.59

ตารางที่ 4.13 ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่ด้วยวิธี Texture Profile Analysis เมื่อผันแปรปริมาณน้ำสับประดในส่วนผสม

ปริมาณน้ำผลไม้ (%)	springiness	cohesiveness	gumminess (N)	chewiness (N)
0	0.94 ± 0.005 ^a	0.58 ± 0.004 ^a	8.65 ± 0.428 ^a	8.17 ± 0.358 ^a
20	0.95 ± 0.002 ^b	0.59 ± 0.000 ^b	10.50 ± 0.939 ^b	9.96 ± 0.920 ^b
25	0.95 ± 0.004 ^b	0.59 ± 0.004 ^b	11.34 ± 0.485 ^b	10.76 ± 0.492 ^b
30	0.95 ± 0.005 ^b	0.59 ± 0.002 ^b	12.17 ± 0.578 ^b	11.59 ± 0.605 ^b

- หมายเหตุ 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ
 2. ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.14 ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่ด้วยวิธี Texture Profile Analysis เมื่อผันแปรปริมาณน้ำมะม่วงเงี้ยว 50% ในส่วนผสม

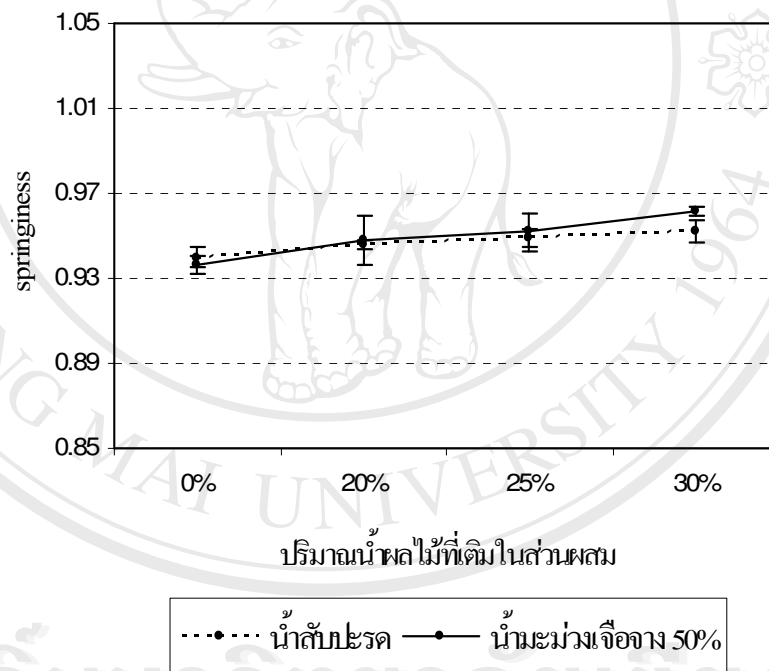
ปริมาณน้ำผลไม้ (%)	springiness	cohesiveness	gumminess (N)	chewiness (N)
0	0.94 ± 0.004 ^a	0.58 ± 0.002 ^a	8.58 ± 0.573 ^a	8.03 ± 0.566 ^a
20	0.95 ± 0.012 ^{ab}	0.59 ± 0.001 ^b	10.10 ± 0.415 ^b	9.58 ± 0.534 ^b
25	0.95 ± 0.009 ^{ab}	0.59 ± 0.003 ^b	10.56 ± 0.374 ^b	10.05 ± 0.243 ^b
30	0.96 ± 0.002 ^b	0.59 ± 0.004 ^b	10.75 ± 0.392 ^b	10.34 ± 0.349 ^b

- หมายเหตุ 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ
 2. ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
 3. ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

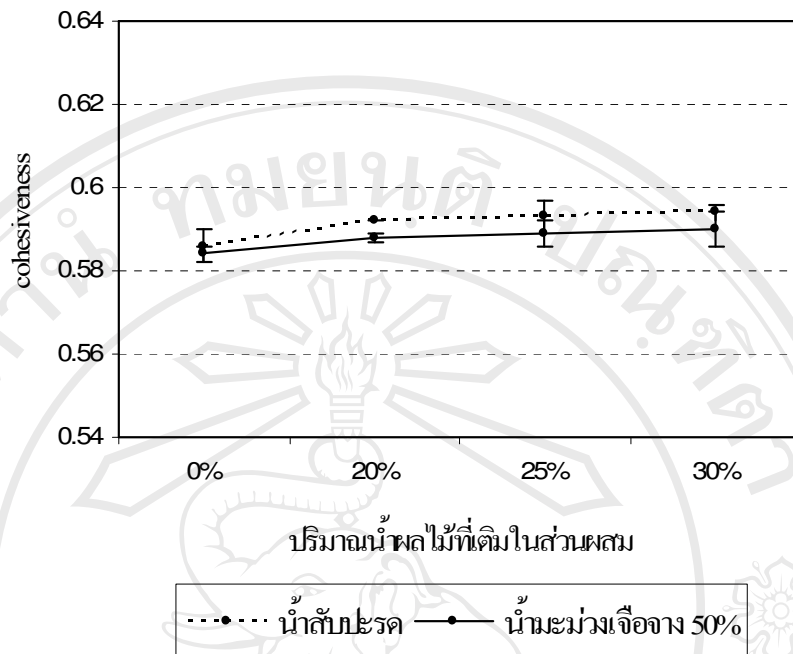
สำหรับค่า gumminess และค่า chewiness ของกัมมีเยลลีมะม่วงนั้น พบว่าให้ผลไปในทางเดียวกัน และแตกต่างกันระหว่างสูตรควบคุมและกลุ่มของสูตรที่เติมน้ำมะม่วงเจือจาง 50% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ไม่แตกต่างกันในระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เติมน้ำมะม่วง อย่างไรก็ตาม ค่า gumminess และค่า chewiness ของกัมมีเยลลีที่มีเนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการเติมน้ำมะม่วงเจือจางในปริมาณที่สูงขึ้น โดยค่า gumminess ของกัมมีเยลลีในกลุ่มตัวอย่างที่เติมน้ำสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 8.58 เป็น 10.75 และมีค่า chewiness เพิ่มขึ้นจาก 8.03 เป็น 10.34

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลีสับปะรดและกัมมีเยลลีมะม่วงที่วัดโดยวิธี Texture Profile Analysis การเพิ่มปริมาณของน้ำผลไม้ทั้งสองชนิด มีผลทำให้ค่า springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารก่อเจลในส่วนผสม โดยเฉพาะการเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินในการทดลองตอนที่ 2 ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากสารต่างๆ หลายชนิดที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในน้ำผลไม้ ได้แก่ กาแลกโตแมนแนนในน้ำสับปะรด เพกทิน รวมทั้งสตาร์ชและเซลลูโลสในเนื้อมะม่วง (รุจิภรณ์, 2546) ซึ่งสารต่างๆ ดังที่กล่าวมานี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารไฮโดรคอลลอยด์ และถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลและสารเพิ่มความข้นหนืดในอาหาร (Phillip and William, 2000) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้น้ำผลไม้ในส่วนผสม และส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลีที่วัดโดยวิธี Texture Profile Analysis เช่นเดียวกับการเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบเนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ของลักษณะเนื้อสัมผัสจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมทดแทนน้ำในส่วนผสมรูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.36 จะเห็นได้ว่าเจลของกัมมีเยลลีมะม่วงมีค่า springiness หรือมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นสูงกว่าเจลของกัมมีเยลลีสับปะรด ในขณะที่เจลของกัมมีเยลลีสับปะรดมีค่า cohesiveness, gumminess และ chewiness มากกว่าเจลของกัมมีเยลลีมะม่วง ทั้งนี้ ลักษณะของเนื้อสัมผัสดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนที่วัดได้ และสอดคล้องกับการทดลองในตอนที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเจลาติน กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของเจลาติน มีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนในกัมมีเยลลีเพิ่มขึ้น พร้อมกับมีค่า springiness ที่เพิ่มขึ้น และมีค่า cohesiveness ลดลง จนถึงระดับหนึ่ง หากยังมีการเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินต่อไป จะทำให้ค่า springiness ของเจลลดลง ในขณะที่มีค่า cohesiveness เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในกรณีของเจลาติน เมื่อค่า springiness ของเจลเพิ่มขึ้น ค่า cohesiveness ของเจลจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบผลจากการเติมน้ำผลไม้ทั้งสองชนิด จะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณของน้ำสับปะรด

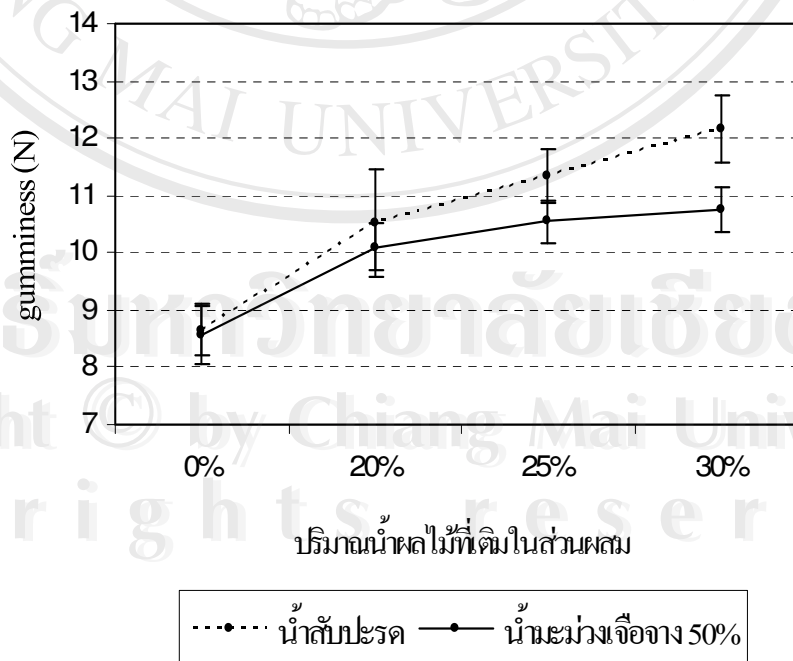
มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนมากกว่าการเพิ่มปริมาณของน้ำมะม่วง ทำให้เจลของกัมมีเฮลลีสับปะรดมีความแข็งแรงของเจลและมีค่าแรงเฉือนมากกว่าเจลของกัมมีเฮลลิมะม่วง และส่งผลทำให้ค่า springiness ของกัมมีเฮลลีสับปะรดลดลงต่ำกว่าค่าที่วัดได้ในกัมมีเฮลลิมะม่วง ในขณะที่ค่า cohesiveness จะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า โดยค่า springiness ของกัมมีเฮลลีสับปะรดและน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ในปริมาณ 30% มีค่าเท่ากับ 0.952 และ 0.962 ตามลำดับ และสำหรับ cohesiveness มีค่าเท่ากับ 0.594 และ 0.590 ตามลำดับ



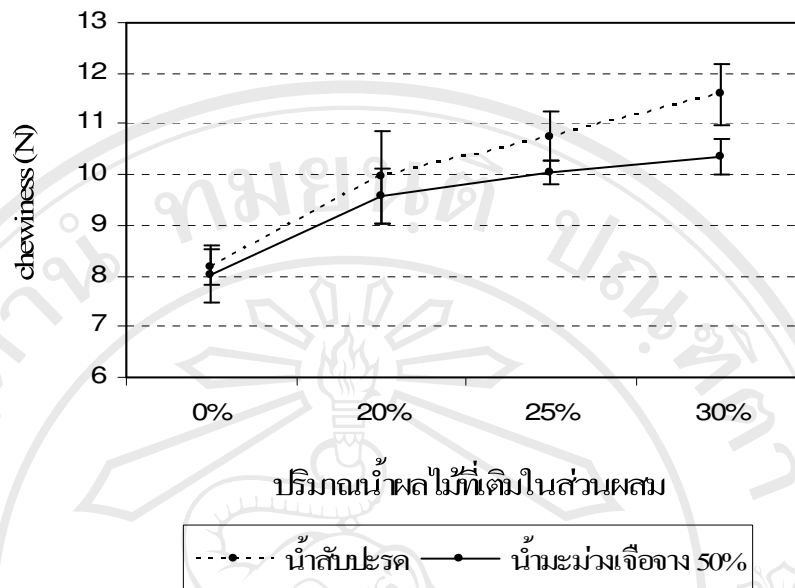
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า springiness และปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า cohesiveness และปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า gumminess และปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chewiness และปริมาณน้ำผลไม้ที่เติมในส่วนผสม

4.4.6 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ ได้แก่ สี กลิ่นผลไม้ รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม เมื่อทำการแปรผันปริมาณของน้ำสับปะรดและปริมาณของน้ำมะม่วงเงือก 50% ในส่วนผสม ทำการทดสอบด้วยวิธี Hedonic nine point scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16 ตามลำดับ

กัมมีเยลลี่สับปะรด

เมื่อพิจารณาผลของคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยที่ผู้ทดสอบชิมมีต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สับปะรด เมื่อทำการแปรผันปริมาณน้ำสับปะรดในส่วนผสมที่ปริมาณ 20, 25 และ 30% ในตารางที่ 4.16 พบว่ามีความแตกต่างของคะแนนความชอบเฉลี่ยระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดที่ระดับต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในด้านความเหนียว ความชอบรวมต่อเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมต่อผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สับปะรด โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบมากที่สุด เมื่อมีการเติมน้ำสับปะรดในส่วนผสมในปริมาณ 20% โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.40 ± 1.06 , 7.40 ± 0.92 และ 7.56 ± 0.92 ตามลำดับ และหากมีการเติมน้ำสับปะรดในระดับที่สูงขึ้น ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อลักษณะดังกล่าวลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของการวัดค่าความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สับปะรดจากตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเติม

น้ำสับปะรดในส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้กัมมีเยลลีมีค่าความแข็งแรงของเจลและค่าแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ต้องใช้แรงในการกัดให้ขาดมากขึ้น ดังนั้น การที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ในสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณ 25% และ 30% ลดลงนั้น น่าจะเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียวมากเกินไป

สำหรับคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านสี กลิ่น ความนุ่ม ความยืดหยุ่น รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบรวมต่อรสชาติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณต่างๆ แม้ว่าในด้านสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มของความชอบที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของการเติมน้ำสับปะรด และคะแนนความชอบต่อความนุ่มและความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเติมน้ำสับปะรดที่ระดับ 20% และลดลงเมื่อมีการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบในทางสถิติแล้ว พบว่าคะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกัน

กัมมีเยลลีมะม่วง

เมื่อพิจารณาผลของคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยที่ผู้ทดสอบชิมมีต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลีมะม่วง เมื่อทำการแปรผันปริมาณน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ในส่วนผสมในปริมาณ 20, 25 และ 30% ในตารางที่ 4.16 พบว่ามีความแตกต่างกันของคะแนนความชอบเฉลี่ยระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำสับปะรดในปริมาณต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในด้านสี ความเหนียว ความยืดหยุ่น ความชอบรวมต่อเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมต่อผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลีมะม่วงโดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบมากที่สุดเมื่อมีการเติมน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ในส่วนผสมในปริมาณ 25% โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.47 ± 1.06 , 7.13 ± 0.92 , 7.33 ± 0.90 , 7.33 ± 0.90 และ 7.30 ± 1.00 ตามลำดับ และการเติมน้ำมะม่วงในปริมาณที่สูงขึ้นเป็น 30% ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อลักษณะดังกล่าวลดลง เมื่อสังเกตผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลีมะม่วงที่เตรียมได้ พบว่าตัวอย่างมีสีเหลืองทองเข้มขึ้น เมื่อเติมน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น และแม้ว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์ในสูตรที่มีการเติมน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ในปริมาณ 20, 25 และ 30% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่มีแนวโน้มว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบมากที่สุดเมื่อเติมน้ำมะม่วงในปริมาณ 25% และเมื่อเติมน้ำมะม่วงเพิ่มขึ้นเป็น 30% ผลิตภัณฑ์จะมีสีเข้มมากเกินไป ซึ่งส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อสีของผลิตภัณฑ์ลดลง สำหรับคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านของกลิ่น ความนุ่ม รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบรวมต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างสูตรควบคุมและสูตรที่มีการเติมน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ในปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 4.15 คะแนนผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของกัมมี่เยลลี่ เมื่อผันแปรปริมาณน้ำสับปะรดในส่วนผสม

ปริมาณ น้ำผลไม้ (%)	คะแนนความชอบ									
	สี	กลิ่น	ความนุ่ม	ความเหนียว	ความยืดหยุ่น	ความชอบรวม ต่อเนื้อสัมผัส	รสหวาน	รสเปรี้ยว	ความชอบรวม ต่อรสชาติ	การยอมรับรวมต่อ ผลิตภัณฑ์
0	6.33 ± 1.34 ^{ns}	6.13 ± 1.40 ^{ns}	6.20 ± 1.57 ^{ns}	6.33 ± 1.18 ^{ab}	6.27 ± 1.39 ^{ns}	6.33 ± 1.29 ^{ab}	6.60 ± 1.50 ^{ns}	6.80 ± 1.42 ^{ns}	6.93 ± 1.44 ^{ns}	6.60 ± 1.12 ^a
20	6.93 ± 1.28 ^{ns}	7.00 ± 1.20 ^{ns}	7.33 ± 1.18 ^{ns}	7.40 ± 1.06 ^b	7.47 ± 0.92 ^{ns}	7.40 ± 0.98 ^b	7.00 ± 1.31 ^{ns}	7.07 ± 0.96 ^{ns}	7.33 ± 1.18 ^{ns}	7.56 ± 0.92 ^b
25	6.93 ± 1.16 ^{ns}	7.00 ± 1.20 ^{ns}	6.40 ± 1.45 ^{ns}	6.47 ± 1.81 ^{ab}	6.53 ± 1.81 ^{ns}	6.47 ± 1.77 ^{ab}	5.93 ± 1.58 ^{ns}	7.40 ± 0.74 ^{ns}	7.40 ± 1.06 ^{ns}	6.87 ± 1.06 ^{ab}
30	7.13 ± 1.39 ^{ns}	7.00 ± 1.65 ^{ns}	6.27 ± 1.53 ^{ns}	6.07 ± 2.09 ^a	6.27 ± 2.05 ^{ns}	6.07 ± 1.91 ^a	7.07 ± 1.53 ^{ns}	7.07 ± 1.16 ^{ns}	7.07 ± 1.53 ^{ns}	6.53 ± 1.32 ^a

- หมายเหตุ 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน
 2. ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับในแนวตั้งแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95
 3. ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.16 คะแนนผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของกัมมีเยลลี่ เมื่อผ่านแปรปริมาณน้ำมะม่วงเจือจาง 50% ในส่วนผสม

ปริมาณ น้ำผลไม้ (%)	คะแนนความชอบ									
	สี	กลิ่น	ความนุ่ม	ความเหนียว	ความยืดหยุ่น	ความชอบรวม ต่อเนื้อสัมผัส	รสหวาน	รสเปรี้ยว	ความชอบรวม ต่อรสชาติ	การยอมรับรวมต่อ ผลิตภัณฑ์
0	5.93 ± 1.53 ^a	6.73 ± 1.62 ^{ns}	6.80 ± 1.32 ^{ns}	6.13 ± 1.19 ^a	6.13 ± 1.19 ^a	6.33 ± 1.11 ^a	6.33 ± 1.29 ^{ns}	6.20 ± 1.26 ^{ns}	6.20 ± 1.32 ^{ns}	6.13 ± 1.06 ^a
20	7.33 ± 1.23 ^b	6.53 ± 1.60 ^{ns}	7.13 ± 1.19 ^{ns}	7.13 ± 0.99 ^b	7.20 ± 1.01 ^b	7.27 ± 0.96 ^b	6.80 ± 1.61 ^{ns}	6.80 ± 1.14 ^{ns}	6.67 ± 1.23 ^{ns}	6.87 ± 1.06 ^{ab}
25	7.47 ± 1.06 ^b	6.13 ± 1.60 ^{ns}	7.20 ± 1.01 ^{ns}	7.13 ± 0.92 ^b	7.33 ± 0.90 ^b	7.33 ± 0.90 ^b	5.80 ± 1.61 ^{ns}	7.00 ± 1.46 ^{ns}	7.00 ± 1.31 ^{ns}	7.30 ± 1.00 ^b
30	7.27 ± 1.44 ^b	6.20 ± 1.66 ^{ns}	7.00 ± 1.41 ^{ns}	6.60 ± 1.55 ^{ab}	6.93 ± 1.53 ^{ab}	7.00 ± 1.46 ^{ab}	7.13 ± 1.68 ^{ns}	7.13 ± 1.55 ^{ns}	7.20 ± 1.66 ^{ns}	7.00 ± 1.46 ^{ab}

- หมายเหตุ 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน
 2. ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
 3. ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95